

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>3D-сканер биологических объектов</b>

УДК 00.925.84:004.352:57

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E72	Петров Денис Юрьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	К.Т.Н		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Дукарт Сергей Александрович	К.И.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Аверкиев Алексей Анатольевич			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	К.Т.Н		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Общекультурные (универсальные) компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
<b>УК(У)-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности;
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
<b>ОПК(У)-2</b>	Владеет физико-математическим аппаратом, необходимым для описания мехатронных и робототехнических систем
<b>ОПК(У)-3</b>	Владеет современными информационными технологиями, готовностью применять современные средства автоматизированного проектирования и машинной графики при проектировании систем и их отдельных модулей, а также для подготовки конструкторско-технологической документации, соблюдать основные требования информационной безопасности
<b>ОПК(У)-4</b>	Готов собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в своей профессиональной деятельности
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов своей профессиональной деятельности
<b>ОПК(У)-6</b>	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
<b>Профессиональные компетенции выпускников</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и

	средства вычислительной техники
<b>ПК(У)-2</b>	Способен разрабатывать программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования
<b>ПК(У)-3</b>	Способен разрабатывать экспериментальные макеты управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводить их экспериментальное исследование с применением современных информационных технологий
<b>ПК(У)-4</b>	Способен осуществлять анализ научно-технической информации, обобщать отечественный и зарубежный опыт в области средств автоматизации и управления, проводить патентный поиск
<b>ПК(У)-5</b>	Способен проводить эксперименты на действующих макетах, образцах мехатронных и робототехнических систем по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств
<b>ПК(У)-6</b>	Способен проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных пакетов с целью исследования математических моделей мехатронных и робототехнических систем
<b>ПК(У)-7</b>	Готов участвовать в составлении аналитических обзоров и научно-технических отчетов по результатам выполненной работы, в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок
<b>ПК(У)-8</b>	Способен внедрять результаты исследований и разработок и организовывать защиту прав на объекты интеллектуальной собственности
<b>ПК(У)-9</b>	Способен участвовать в качестве исполнителя в научно-исследовательских разработках новых робототехнических и мехатронных систем
<b>ПК(У)-10</b>	Готов участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей
<b>ПК(У)-11</b>	Способен производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием
<b>ПК(У)-12</b>	Способен разрабатывать конструкторскую и проектную документацию механических, электрических и электронных узлов мехатронных и робототехнических систем в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями
<b>ПК(У)-13</b>	Готов участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам и вести соответствующие журналы испытаний
<b>ДПК (У)-1</b>	Способен проводить проверку технического состояния оборудования, настройку систем управления и обработки информации с использованием соответствующих инструментальных средств

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
Мамонова Т.Е.  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

3D-сканер биологических объектов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 50-13/с от 19.02.2021
Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021

4

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1) Аналитический обзор аналогов. 2) Разработка структурной схемы управления. 3) Обоснованный выбор оборудования. 4) Разработка функциональной схемы управления. 5) Моделирование конструкции 3D-сканера 6) Разработка принципиальной электрической схемы соединения элементов 7) Разработка алгоритма сканирования 8) Прототипирование рабочего устройства 9) Выполнение тестов по 3D-сканированию 10) Разработка чертежей сборочных единиц
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Структурная схема, функциональная схема, чертежи сборочных единиц разрабатываемого устройства.

### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Дукарт Сергей Александрович
Социальная ответственность	Аверкиев Алексей Анатольевич

### Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

### Задание выдал руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	К.Т.Н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е72	Петров Денис Юрьевич		

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения – весенний семестр 2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела(модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.06.2021	Основная часть	75
13.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
28.05.2021	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	К.Т.Н.		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8E72	Петров Денис Юрьевич

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 50 тыс. руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 100 тыс. руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4 баллов из 5.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Пропорциональная система налогообложения.

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Календарный план НИ и расчёт затраты НИ.
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	С позиции ресурсоэффективности и финансовой эффективности необходимо сравнить текущий проект с двумя аналогами.

## Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Дукарт Сергей Александрович	к.и.н.		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E72	Петров Денис Юрьевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8E72	Петров Денис Юрьевич

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

<b>3D-сканер биологических объектов</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: 3D-сканер биологических объектов.</p> <p>Область применения: реверс-инжиниринг.</p> <p>Рабочая зона: для оператора – место за персональным компьютером.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).</p> <p>Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</p> <p>Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ.</p>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Отклонение показателей микроклимата</li> <li>– Превышение уровня шума</li> <li>– Отсутствие или недостаток естественного света</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>– Повышенная напряжённость электрического поля</li> <li>– Поражение электрическим током</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<p>На атмосферу влияют вредные выбросы при производстве составных элементов сканера, также пагубное влияние на литосферу при их утилизации.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p>В процессе разработки наиболее вероятна ЧС техногенного характера – пожар (возгорание). В процессе эксплуатации наиболее вероятна ЧС социального-криминального характера – диверсия</p>



Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБМП	Аверкиев Алексей Анатольевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E72	Петров Денис Юрьевич		

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 102 страницы, 39 рисунков, 35 таблиц, список используемых источников содержит 19 наименований и приложений на 14 листах.

Ключевые слова: 3D-сканер, триангуляция, биологический объект, 3D-модель.

Цель работы – разработка прототипа 3D-сканера биологических объектов.

В процессе исследования проводились обзор аналогов, разработка структурной и функциональной схемы 3D-сканера, обоснованный выбор оборудования, разработка алгоритма сканирования, моделирование и прототипирование макета, сборка макета и проведение тестов. Также была разработана принципиальная электрическая схема подключения элементов сканера, а также чертежи сборочных единиц.

В результате проведения работы был разработан рабочий прототип 3D-сканера биологических объектов.

## Содержание

Введение .....	15
1 Изучение технологии 3D-сканирования .....	16
1.1 Описание устройства 3D-сканера .....	16
1.2 Функциональные возможности 3D-сканеров .....	16
1.3 Существующие решения .....	16
1.3.1 Контактные 3D-сканеры .....	17
1.3.2 Бесконтактные 3D-сканеры .....	18
1.3.2.1 Пассивные 3D-сканеры .....	18
1.3.2.2 Активные 3D-сканеры .....	19
1.4 Области применения 3D-сканеров .....	20
1.4.1 Архитектура .....	20
1.4.2 Медиа, дизайн, реклама .....	21
1.4.3 Медицина и стоматология .....	21
1.4.4 Реверс-инжиниринг .....	21
2 Разработка 3D-сканера биологических объектов .....	23
2.2 Обзор аналогов .....	23
2.2.1 3D-сканер Ciclop .....	23
2.2.2 3D-сканер 3DQuality Planeta3D .....	24
2.2.3 3D-сканер 3DQuality Planeta3D D500 .....	25
2.3 Характеристики проектируемого 3D-сканера биологических объектов .....	26
2.4 Внешний вид и устройство 3D-сканера .....	28
2.5 Выбор оборудования .....	29
2.5.1 Веб-камера Sven IC-350 .....	29
2.5.2 Линейный лазерный модуль SYD1230 .....	30

2.5.3	Шаговый двигатель NEMA 17 17HS2408 .....	31
2.5.4	Драйвер шагового двигателя EasyDriver V44.....	32
2.5.5	Программируемый контроллер Arduino Uno .....	33
2.6	Разработка структурной схемы .....	34
3	Опытно-конструкторская работа по созданию 3D-сканера биологических объектов .....	36
3.2	Проектирование вращающейся платформы .....	36
3.3	Разработка функциональной схемы .....	39
3.4	Разработка алгоритма сканирования .....	40
3.5	Вывод необходимых уравнений .....	41
3.6	Реализация алгоритма .....	47
3.6.1	Результаты сканирования .....	50
3.7	Выводы по результатам применения технологии .....	55
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	57
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности.....	57
4.1.1	Объем рынка .....	57
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений .....	57
4.1.3	SWOT-анализ .....	59
4.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	61
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	61
4.2.2	Разработка графика проведения научного исследования .....	62
4.3	Разработка графика проведения научного исследования (НТИ) .....	66
4.3.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	66

4.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	67
4.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	67
4.3.4	Дополнительная заработная плата.....	69
4.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	69
4.3.6	Накладные расходы.....	69
4.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.	70
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	70
5	Социальная ответственность.....	73
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	73
5.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства, характерные для проектируемой рабочей зоны. ....	73
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	74
5.2	Производственная безопасность .....	77
5.2.1	Отклонение показателей микроклимата .....	78
5.2.2	Превышение уровня шума.....	79
5.2.3	Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны .....	80
5.2.4	Повышенная напряженность электрического поля. ....	82
5.2.5	Поражение электрическим током. ....	83
5.3	Экологическая безопасность .....	83
5.3.1	Влияние объекта исследования на окружающую среду .....	83
5.3.2	Влияние процесса исследования и изготовления на окружающую среду	83
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	84

Заключение .....	86
Список литературы .....	87
Приложение А .....	89
Приложение Б .....	94
Приложение В.....	97

## **Введение**

3D-сканирование – наиболее передовой способ перевода физического объекта в цифровой формат, который помогает существенно оптимизировать производственный процесс. Современные 3D-сканеры способны оцифровывать самые разные объекты – от миниатюрных деталей до зданий и сооружений.

Технология 3D-сканирования находит применение во многих отраслях – автомобильной и авиакосмической промышленности, машиностроении, судостроении, ювелирном деле, медицине, – где она с успехом решает задачи контроля геометрии и реверс-инжиниринга (обратного проектирования).

Нынешние услуги 3D-сканирования не могут порадовать своей ценой. Используемые технологии стоят дорого, а с ними дорожают и предоставляемые услуги.

Актуальность данной сферы растет с каждым годом – быстрое получение модели какой-либо детали или предмета является одной из самых важных потребностей современных инженеров. Поэтому, важно снижать стоимость данной технологии, не теряя при этом качество сканирования, для повышения интереса к реверс-инжинирингу с применением технологий 3D-сканирования.

Объектом исследования является 3D-сканер биологических объектов. Предоставленная 3D-сканером информация о параметрах, к примеру, тела человека, позволяет, подобрать правильные размеры одежды без лишних и долгих замеров, или разработать индивидуальную программу спортивных тренировок.

## **1 Изучение технологии 3D-сканирования**

### **1.1 Описание устройства 3D-сканера**

3D сканер – это устройство, которое анализирует физический объект с целью приобретения информации о форме и внешнем виде объекта. Данная информация в дальнейшем может использоваться для создания 3D-модели отсканированного объекта [1].

Технологии 3D-сканирования отличаются друг от друга в зависимости от поставленной задачи. Сканируемый объект определяет основные характеристики и цену 3D-сканера. Таким образом, каждый сканер может выглядеть и стоить по-разному.

Также, существуют определенные ограничения для сканируемых объектов. Такими объектами являются блестящие, прозрачные объекты, а также, объекты с зеркальной поверхностью.

### **1.2 Функциональные возможности 3D-сканеров**

3D-сканер анализирует объект, после чего создает облако точек, повторяющее его форму. Данное облако точек может быть использовано для создания 3D-модели объекта. Современные сканеры могут предоставлять информацию не только о кривизне поверхности объекта, а также о его цвете.

Главным составляющим оборудования 3D-сканера является камера. С её помощью осуществляется захват изображений со сканируемым объектом. Далее, после обработки изображений определенными алгоритмами строится вышеупомянутое облако точек.

В зависимости от специфики сканируемого объекта определяется количество сканируемых каналов, а также траектория их передвижения и количество проходов того или иного участка сканирования вышеупомянутыми сканирующими каналами. Результаты сканирования всех участков объекта должны быть приведены к общей системе координат.

### **1.3 Существующие решения**

Первоначальным этапом в проектировании прототипа является обзор существующих аналогов. Осуществим обзор имеющихся на данный момент



решений относительно 3D-сканеров. По классификации 3D-сканеры делятся на два типа: контактные сканеры и бесконтактные. Каждый тип предназначен для той или иной задачи, в частности, для сканирования того или иного объекта.

### **1.3.1 Контактные 3D-сканеры**

Сканеры этого вида изучают объект напрямую – через физическое взаимодействие. В момент исследования предмет находится на специальной поверочной плите, отполированной и отшлифованной до нужной шероховатости поверхности. Если вещь несимметричная или не может лежать ровно на одном месте, ее удерживают специальные зажимы (тиски).

Различают три формы механизма 3D-сканера данного типа:

- каретка, оснащенная измерительной рукой, которая четко зафиксирована в перпендикулярном направлении. Исследование по всем осям происходит в тот момент, когда рука движется вдоль каретки. Этот вариант идеально подходит для изучения плоских или обычных выпуклых поверхностей.

- прибор, оснащенный высокоточным угловым датчиком и зафиксированными составляющими. Данный механизм оптимален для сканирования внутреннего пространства объекта или иных его углублений, имеющих небольшое входное отверстие.

- одновременное использование двух вышеуказанных механизма. К примеру, манипулятор совмещают с кареткой, что позволяет собирать информацию с крупных объектов, имеющих несколько внутренних отсеков или, перекрывающих друг друга, плоскости.

Основным недостатком этих сканеров является их ограничение в сканируемых поверхностях, а особенно подвижных объектов. Еще один недостаток – необходимость того, чтобы сканер непосредственно касался объекта. Если последний довольно хрупкий, тогда есть возможность его повредить. Последний недостаток – маленькая скорость работы. Перемещение руки по установленной цели может происходить очень долго. В то время, как современные оптические модели, могут работать гораздо быстрее.

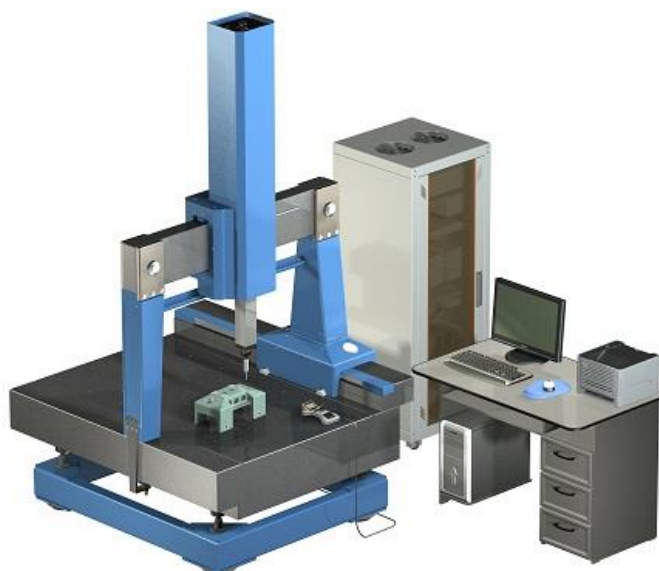


Рисунок 1 – Координатно-измерительная машина (контактный 3D-сканер)

### **1.3.2 Бесконтактные 3D-сканеры**

Наиболее востребованными являются сканеры, именуемые «бесконтактными». Бесконтактные 3D-сканеры позволяют воссоздавать форму тех объектов, которые достаточно хрупки или находятся в труднодоступных местах. Бесконтактные 3D-сканеры делятся на два типа: пассивные и активные.

#### **1.3.2.1 Пассивные 3D-сканеры**

Пассивные 3D-сканеры для своей работы используют уже имеющийся окружающий свет, отражение которого от фигуры и анализируется. Фактически, пассивные бесконтактные 3D-сканеры представляют собой фото- или видеокамеру, оснащённую алгоритмами сведения снятого материала в единую объёмную фигуру. Работа этих алгоритмов может требовать, как съёмки некоторого числа кадров с определённых ракурсов, так и круговой видеосъёмки с определённой скоростью движения камеры.

Основное достоинство пассивных бесконтактных 3D-сканеров – простота их технической реализации, которая компенсируется за счёт сложности алгоритмов обработки и непростой (нередко многоступенчатой) процедуры приготовления объекта к сканированию. Кроме того, пассивные бесконтактные 3D-сканеры выделяются в среднем невысоким качеством

итоговой модели, следовательно, требуется последующая её доработка в редакторе.

### **1.3.2.2 Активные 3D-сканеры**

Для работы активного сканера используются либо обычный свет, либо определенный вид излучения. Именно через проходящее излучение или отражение света, объект подвергается цифровому исследованию. Случается, применение рентгеновских лучей или ультразвука. Бесконтактные активные сканеры делятся на времяпролетные и триангуляционные.

1. Времяпролетные 3D-сканеры – это активный вид сканера, который для исследования объекта использует лазерный луч. В его основе лежит времяпролетный дальномер. Именно он определяет расстояние до поверхности, рассчитывая время, за которое лазер пролетел туда и обратно. В этом случае лазерный луч используется, как световой импульс, время отражения которого и измеряется при помощи детектора. Скорость света, как известно, величина постоянная, поэтому, зная, за какое время луч совершает пролет туда-обратно, можно без труда вычислить расстояние от сканера до поверхности изучаемого предмета.

2. Триангуляционные сканеры используют для зондирования объекта лазерный луч или проецируемую сетку. Сканер посылает луч или сетку на предмет, а отдельно зафиксированная камера заносит данные о расположении указанных точек. По мере движения проецируемого света по поверхности, поле зрения камеры фиксирует точки в разных местах. Триангуляционными их назвали потому, что лазерный излучатель, конечная точка и сама камера, совместно образуют треугольник [2].

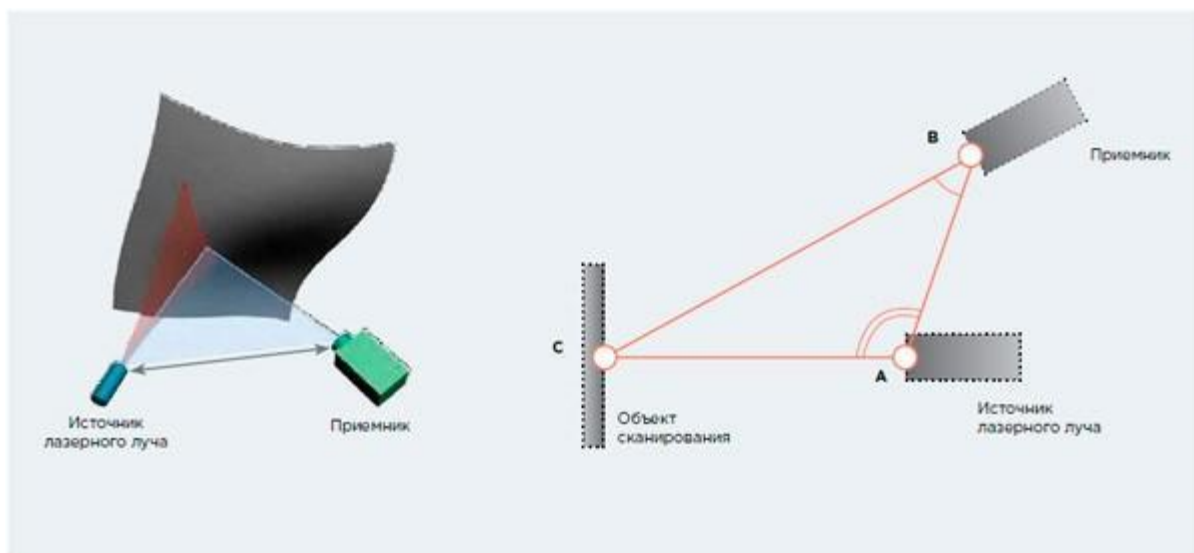


Рисунок 2 – Принцип лазерной триангуляции

## 1.4 Области применения 3D-сканеров

Современные 3D-сканеры используются в самых разных областях производства, науки, бизнеса, проектирования. В этом разделе рассмотрены наиболее популярные сферы, в которых эффективно используется 3D-сканирование.

### 1.4.1 Архитектура

Широкое распространение получили 3D-сканеры, позволяющие осуществлять быструю оцифровку зданий и помещений, а также музейных экспонатов и архитектурных ценностей. 3D-технологии существенно ускоряют получение готового проектного решения. Оцифровка памятников старины или зданий, подлежащих реставрации, фиксация обстоятельств дорожно-транспортных происшествий или мест преступления — далеко не полный список возможного.

Произведение высокоточных замеров местности или объекта и их воссоздание в виде модели всегда было одной из самых острых инженерных проблем. Но до недавнего времени получить максимально точное и реалистичное изображение удавалось лишь на плоских двухмерных планах и картах. Теперь эту проблему легко решает 3D-сканер.

### **1.4.2 Медиа, дизайн, реклама**

Использование 3D-сканера открывает новые горизонты в работе дизайнерских студий, модельеров, производстве видеороликов и рекламы. С помощью трехмерных технологий можно в короткий срок сделать нужный дизайн-макет или рекламный продукт любой сложности.

3D-сканеры позволяют оцифровывать объекты дизайна любой сложности. Причем детализация будет настолько высокой, что максимально четко обозначатся все мельчайшие элементы: этикетки, штрих-коды, оттиски и фирменные знаки. Готовые модели могут быть продемонстрированы заказчику в виде презентации перед запуском в массовое производство [3].

### **1.4.3 Медицина и стоматология**

3D-сканер — важный атрибут медицинских научно-исследовательских центров и практикующих медучреждений всего мира. При помощи трехмерных сканеров можно получить, например, точную 3D-модель строения человеческого тела или отдельных его частей. Пластические хирурги могут получить точную цветную 3D-модель груди, лица и любой другой части тела в считанные минуты и визуально продемонстрировать результаты будущей работы.

Трехмерные сканеры успешно используются протезистами и ортопедами для создания высокоточных сканов частей тела. Это означает, что специалисты могут изготавливать идеально подходящие своим пациентам протезы, не затрачивая при этом больших средств на проектирование, как прежде.

### **1.4.4 Реверс-инжиниринг**

Сегодня 3D-сканеры широко применяются для реверс-инжиниринга изделий сложной формы. Процесс характеризуется созданием математической модели или чертежей по существующему физическому образцу.

Принципиальную схему обратного проектирования с использованием 3D-сканера можно изобразить следующим образом: 3D-сканирование физического образца, перевод полученного облака точек в полигональную 3D-

модель, обработка модели в специальном программном обеспечении для перевода в САПР-формат.

## 2 Разработка 3D-сканера биологических объектов

Данный раздел включает в себя описание научно-исследовательских работ по разработке 3D-сканера биологических. Целью данных работ являлись получение сведений об аналогах разрабатываемого устройства, формирование требований для него, а также, создание структурной схемы.

### 2.2 Обзор аналогов

Большинство современных активных 3D-сканеров имеют общие характеристики. Эти характеристики рознятся в зависимости от решаемой сканером задачи. Основные характеристики 3D-сканеров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики 3D-сканеров

Характеристика	Описание
Точность	Общая результирующая ошибка измерения.
Скорость сканирования	Насколько быстро происходит сбор данных о форме сканируемого объекта.
Разрешение	Минимальное расстояние между соседними 3D-точками в миллиметрах. Эквивалентно разрешению камеры.
Минимальный и максимальный объем сканируемого объекта	Габариты объекта, при которых сканер может получить полную информацию о его форме.

При обзоре аналогов были рассмотрены сканеры различных моделей, предназначенные для сканирования объектов как биологических, так и статичных.

#### 2.2.1 3D-сканер Ciclor

3D сканер Ciclor использует метод лазерной триангуляции и оснащен поворотным столом. Поставляется в виде набора для сборки. У модели

присутствует авто-калибровка что сильно упрощает и ускоряет работу, уменьшая входной порог для пользователей данного устройства. Работает данный сканер с ПО Horus, через нее и проводится калибровка камеры, наблюдение облака точек и регулирование экспозиции. Характеристики данного 3D-сканера представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики 3D-сканера Ciclor

Точность сканирования, мм.	0,5
Скорость сканирования, мин.	3 – 4, в зависимости от объекта
Разрешение, пикс.	1280x720
Максимальный объем сканируемого объекта, мм.	205x205x205
Цена, руб.	36000



Рисунок 3 – 3D сканер Ciclor

### 2.2.2 3D-сканер 3DQuality Planeta3D

Оптический ручной сканер, который подходит для сканирования как среднегабаритных, так и крупногабаритных объектов. Он позволяет захватить объекты и площади до 4 квадратных метров. Данная модель имеет в комплекте свое собственное фирменное русскоязычное ПО, с функцией дальнейшей пост обработки. Так же присутствует возможность получить информацию о цвете объекта [4]. Характеристики данного 3D-сканера представлены в таблице 3.



Таблица 3 – Характеристики 3D-сканера 3DQuality Planeta3D

Точность сканирования, мм.	1
Скорость сканирования, мин.	1 – 3, в зависимости от объекта
Разрешение, вокс.	До 768
Минимальный объем сканируемого объекта, мм.	100x100x100
Максимальный объем сканируемого объекта, мм.	4000x4000x4000
Цена, руб.	150000



Рисунок 4 – 3D-сканер 3DQuality Planeta3D

### 2.2.3 3D-сканер 3DQuality Planeta3D D500

Система автоматического сканирования Planeta3D D500 – это программно-аппаратный комплекс для сканирования людей или иных больших объектов. Комплекс Planeta3D D500 состоит из: Автоматической стойки со сканирующим модулем, автоматическим поворотным столом. Все компоненты соединены посредством программного обеспечения в единую систему и управляются при помощи компьютера [4]. Характеристики данного 3D-сканера представлены в таблице 2.4.

Таблица 4 – Характеристики 3D-сканера 3DQuality Planeta3D

Точность сканирования, мм.	1
Скорость сканирования, мин.	2 - 5, в зависимости от объекта
Разрешение, вокс.	До 768
Минимальный объем сканируемого объекта, мм.	250x250x250
Максимальный объем сканируемого объекта, мм.	5000x5000x5000
Цена, руб.	355000



Рисунок 5 – 3D-сканер 3DQuality Planeta3D D500

### 2.3 Характеристики проектируемого 3D-сканера биологических объектов

На данном этапе работы следует дать необходимое определение сканируемому объекту, а также, сформировать требования к 3D-сканеру и процессу сканирования.

В данной работе под «биологическим объектом» подразумевается такой объект, который не может длительное время находиться в статичном состоянии. Форма объекта не имеет ступенчатых перепадов, а его поверхность не зеркальная и не отражает солнечные лучи. Таким объектом, к примеру, является человек. Таким образом, были сформированы требования к проектируемому макету:

- в процессе сканирования, 3D-сканер не должен касаться объекта, дабы не изменить его первоначальное положение. В противном случае, результат сканирования будет неточным.

- 3D-сканер должен собирать информацию обо всей поверхности тела объекта путем автоматического перемещения сканирующей части вдоль сканируемого объекта.

- 3D-сканер должен перемещать сканирующую часть относительно объекта, а не объект относительно сканирующей части. В противном случае, объект будет реагировать на каждое такое движение и изменять свое первоначальное положение.

- скорость сканирования должна быть достаточно быстрой. В противном случае в процессе сканирования объект успеет изменить свое первоначальное положение в силу своей нестатичности.

- точность сканирования должна соответствовать существующим аналогам, или быть выше.

- результатом сканирования должно являться облако точек, повторяющее форму объекта. Облако точек должно иметь формат. ply, который позволяет редактировать его и осуществлять реконструкцию поверхности объекта.

Исходя из вышеперечисленных требований и условия, что проектируемый сканер является уменьшенной версией (макетом) реального сканера были сформированы характеристики прототипа, которые представлены в таблице 2.5.

Таблица 5 – Характеристики проектируемого 3D-сканера

Точность сканирования, мм.	Не больше 1-го
Скорость сканирования, мин.	0,5 - 2
Разрешение, пикс.	Не меньше 640х480
Максимальный объем сканируемого объекта, мм.	100х100х100
Цена, руб.	Не более 30000

## 2.4 Внешний вид и устройство 3D-сканера

Исходя из требований, выявленных в предыдущем пункте, был составлен эскиз примерного внешнего вида конструкции проектируемого 3D-сканера.

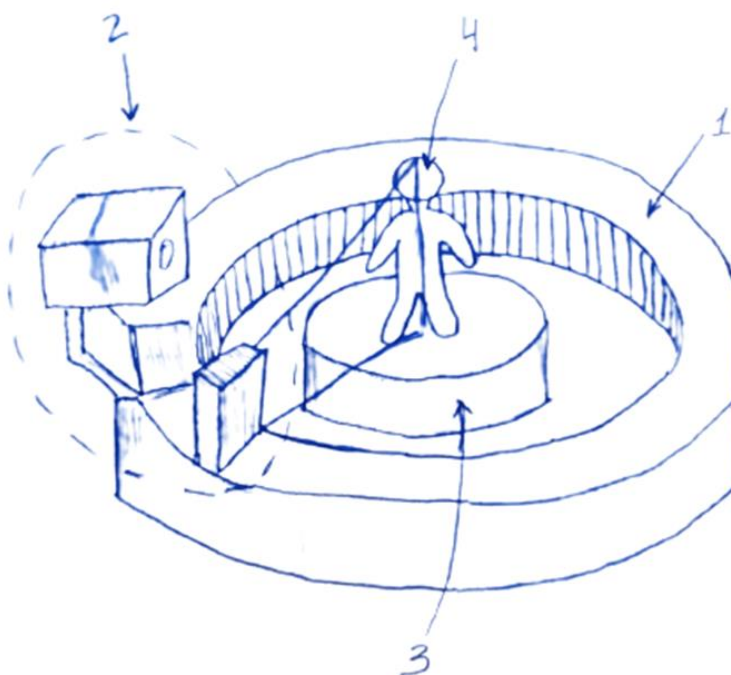


Рисунок 6 – Эскиз внешнего вида 3D-сканера

Рассмотрим отмеченные на эскизе части 3D-сканера.

1. Вращающаяся платформа. Данная платформа осуществляет перемещение сканирующей части 3D-сканера вокруг сканируемого объекта, не оказывая на сам объект физического воздействия.

2. Сканирующая часть. Она состоит из камеры и источника структурированного света, проецируемого на объект. В данном случае, источником света является лазер, проецирующий на объект лазерную линию. Таким образом, методом сканирования данного сканера будет являться лазерная триангуляция, так как она проста в освоении и достаточно дешева.

3. Статичная платформа. На данную платформу помещается сканируемый объект.

4. Биологический объект. В данном случае изображен человек, как самый яркий пример биологического объекта. Выбор человека, как биологического объекта обусловлен тем, что для качественного сканирования методом триангуляции важно, чтобы объект некоторое время находился в статичном состоянии. Человек намеренно может принять определенную позу и «застыть» в ней во время сканирования. Однако, сканируемым объектом может являться любой биологический объект, если быстродействия сканера достаточно, чтобы передать его форму без искажений.

Таким образом, обозначив вектор направления проектирования 3D-сканера, следующим этапом разработки являются выбор оборудования и опытно-конструкторские работы.

## **2.5 Выбор оборудования**

В данном разделе осуществляется обоснованный выбор оборудования для разработки 3D-сканера биологических объектов. Элементы сканера выбираются исходя из характеристик и требований, обозначенных в пунктах выше, а также, из составленного технического задания.

### **2.5.1 Веб-камера Sven IC-350**

В качестве камеры была выбрана веб-камера Sven IC-350. Данная камера находится в среднем ценовом диапазоне, имеет настраиваемый фокус и удобную клипсу для фиксации. Технические характеристики данной камеры представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики проектируемого 3D-сканера

Разрешение, пикс.	640x480
Фокусировка	Ручная
Частота кадров в секунду	До 30
Длина кабеля, м.	1,45
Подключение	USB 2.0



Рисунок 7 – Веб-камера Sven IC-350

### 2.5.2 Линейный лазерный модуль SYD1230

Линейный лазерный модуль является вторым элементом сканирующей части 3D-сканера. Именно он проецирует на объект структурированный свет в виде лазерной полосы. Для этой цели подойдет лазерный модуль SYD1230, характеристики которого представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики линейного лазерного модуля SYD1230

Напряжение питания, В	3 - 6
Длина волны, нм	650 (красный цвет)
Мощность, мВт	5
Рабочий ток, мА	40
Форма лазера	Линия

Стоит отметить, что рабочее напряжение данного лазера позволяет напрямую подключать его к различным управляющим платам, например, Arduino UNO. Таким образом, управление лазером существенно упрощается.

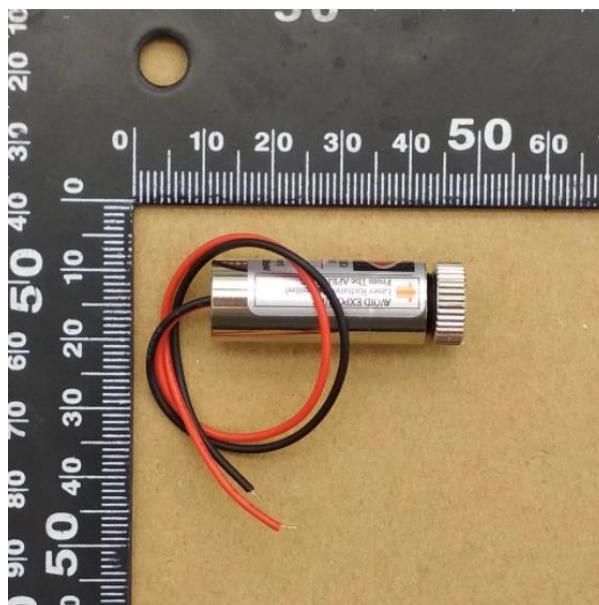


Рисунок 8 – Линейный лазерный модуль SYD1230

### 2.5.3 Шаговый двигатель NEMA 17 17HS2408

Шаговые двигатели широко применяется в 3D-принтерах и различных конвейерах. Точность поворота таких двигателей весьма высока, а управление ими не вызывает трудностей. С его помощью появляется возможность точного перемещения сканирующей части вокруг объекта сканирования. Характеристики данного двигателя представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики шагового двигателя NEMA 17 17HS2408

Угловой шаг, град	$1,8 \pm 5\%$
Число фаз	2
Номинальный ток, А	0,6
Крутящий момент, кг x см	1,2
Диаметр вала, мм	5
Габаритные размеры, мм	42x 42x48

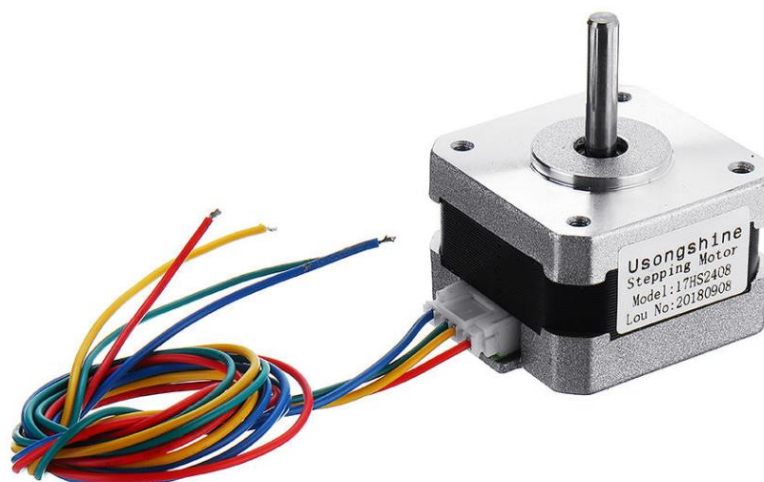


Рисунок 9 – Шаговый двигатель NEMA 17 17HS2408

#### 2.5.4 Драйвер шагового двигателя EasyDriver V44

Для управления шаговым двигателем требуется специальный драйвер. EasyDriver представляет собой простой в использовании драйвер шагового двигателя, совместимы со всеми двигателями, которые работают с логикой от 0 до 5 вольт. Данный драйвер работает с питанием шаговых двигателей от 7 Вольт до 30 Вольт, а также, имеет стабилизатор напряжения для цифрового интерфейса, который может быть установлен на 5V или 3.3V. Он упрощает процесс формирования ШИМ-сигналов, для управления шаговым двигателем. Характеристики данного драйвера представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики драйвера EasyDriver V44

Регулируемый ток фазы, мА	От 150 до 750
Диапазон напряжения питания, В	От 7 до 30
Микрошаговый режим	Присутствует



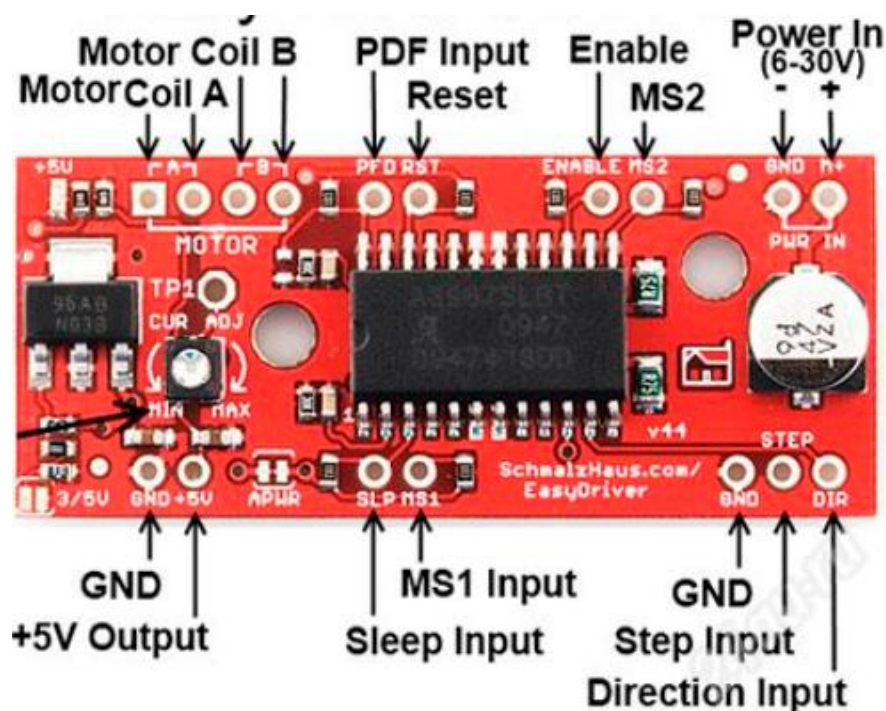


Рисунок 10 – Драйвер шагового двигателя EasyDriver V44

## 2.5.5 Программируемый контроллер Arduino Uno

Для управления шаговым двигателем и лазером был выбран не малоизвестный контроллер Arduino Uno. На платформе Arduino Uno установлено несколько устройств для осуществления связи с компьютером, другими устройствами Arduino или микроконтроллерами. ATmega328 поддерживают последовательный интерфейс UART TTL (5 В), осуществляемый выводами 0 (RX) и 1 (TX). Установленная на плате микросхема ATmega8U2 направляет данный интерфейс через USB, программы на стороне компьютера "общаются" с платой через виртуальный COM порт. Прошивка ATmega8U2 использует стандартные драйвера USB COM, никаких сторонних драйверов не требуется, но на Windows для подключения потребуется файл ArduinoUNO.inf. Платформа программируется посредством ПО Arduino. Так же, при помощи специального пакета поддержки Arduino Support от Mathworks, Matlab получает возможность обмениваться данными с контроллером. Характеристики данного контроллера представлены в таблице 10.

Таблица 10– Характеристики контроллера Arduino Uno

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение, В	5
Входное напряжение (рекомендуемое), В	7 - 12
Цифровые входы/выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	6
Постоянный ток для вывода 3.3В, мА	40
Флеш-память, Кб	32
Тактовая частота, МГц	16

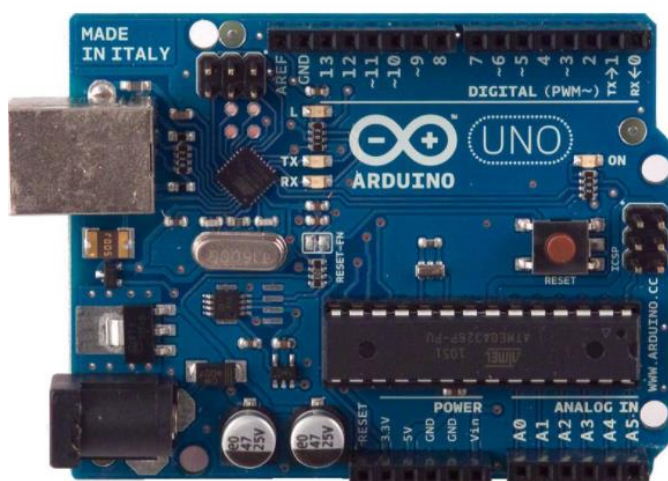


Рисунок 11 – Контроллер Arduino Uno

## 2.6 Разработка структурной схемы

Сканер должен осуществлять полный оборот вокруг сканируемого объекта при помощи поворотной платформы. Платформа приводится в движение при помощи шагового двигателя. В свою очередь, шаговый двигатель управляется через драйвер при помощи контроллера. Камера фиксирует изображение с проецируемым на объект структурированным светом. Лазер является источником структурированного света и также управляется

контроллером. Фотографии с камеры отправляются на компьютер для дальнейшей обработки. В процессе сканирования компьютер отдает команду на запуск скрипта контроллера определенное количество раз. Весь процесс является итеративным и продолжается до тех пор, пока сканирующая часть не совершит полный оборот вокруг объекта.

Таким образом, была сформирована структурная схема сканера, отображающая взаимосвязь всех элементов 3D-сканера.

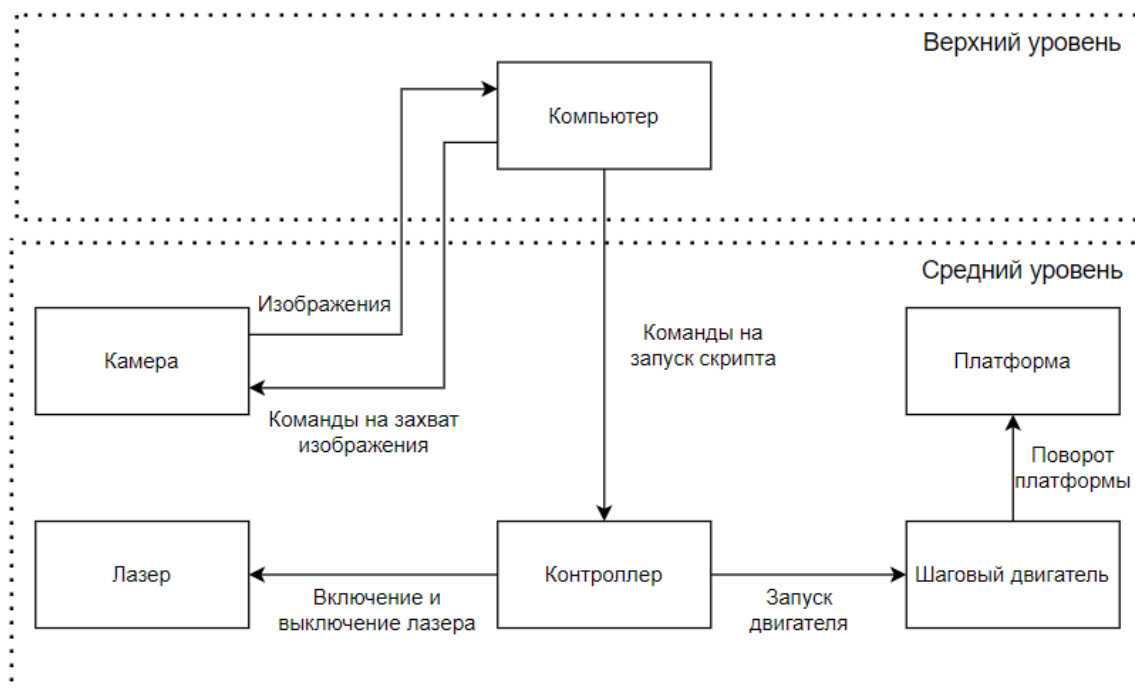


Рисунок 12 – Структурная схема 3D-сканера биологических объектов

### **3 Опытнo-кoнстpуктopская paбoтa пo сoздaнию 3D-скaнepa биoлoгичeских oбъeктoв**

В данном разделе описан процесс проектирования 3D-сканера от создания конструкции до разработки алгоритма его работы.

#### **3.2 Проектирование вращающейся платформы**

Важно разместить камеру таким образом, чтобы объект, габариты которого определены в пункте 2.2, мог быть полностью ею захвачен. Опытным путем было выяснено, что диаметр платформы должен быть не меньше 310 мм. Макет имеет форму окружности с вырезом посередине. Модель была спроектирована в системе трехмерного проектирования Autodesk Inventor.

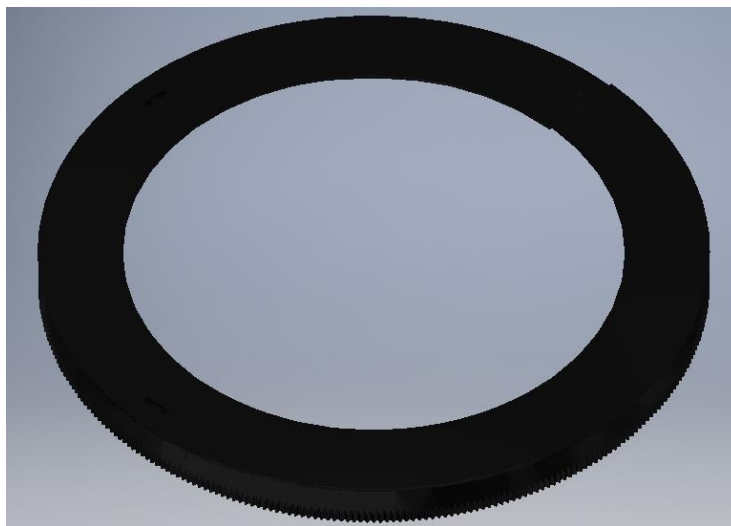


Рисунок 13 – Верхняя часть платформы

Вращение платформы осуществляется посредством зубчатой передачи. При помощи встроенных функций Autodesk Inventor по построению зубчатых зацеплений, на основной части платформы были нарезаны зубья. Число зубьев колеса  $z = 324$ . Диаметр делительной окружности  $d = 308$  мм. Модуль колеса  $m = 0,95$ .

Ведущее зубчатое колесо с диаметром делительной окружности  $d = 38$  мм. и модулем колеса  $m = 0,95$ , которое приводится в движение шаговым двигателем представлено на рисунке 14.

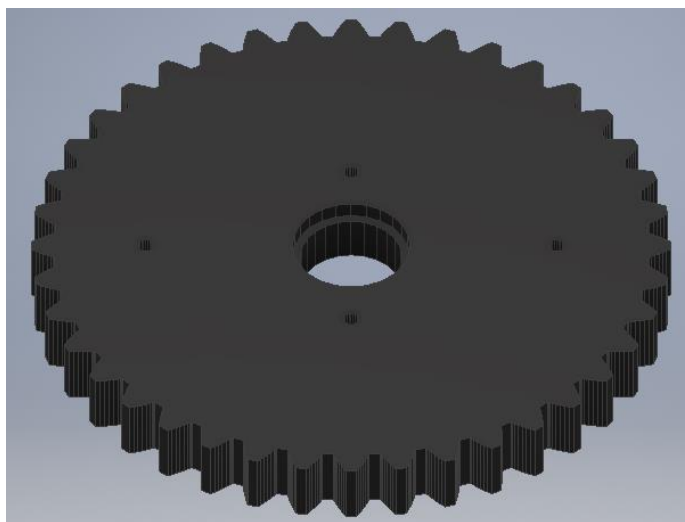


Рисунок 14 – Ведущее зубчатое колесо

Для плавного перемещения платформы было решено изготовить нижнюю часть платформы, по всей поверхности которой размещены шкивы, на которые кладется верхняя часть платформы. Шкивы крепятся к суппортам, а те, в свою очередь, закреплены к плоскости нижней части платформы. Благодаря этим частям платформы, удалось достичь плавного и устойчивого перемещения сканирующей части 3D-сканера.

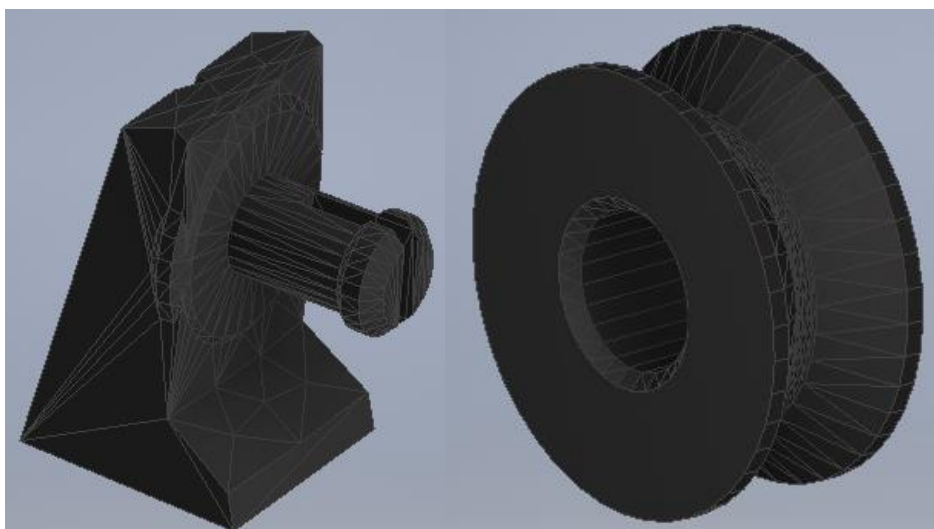


Рисунок 15– Суппорт и шкив

Нижняя часть платформы представляет из себя круглую пластину с посадочными местами для суппортов.

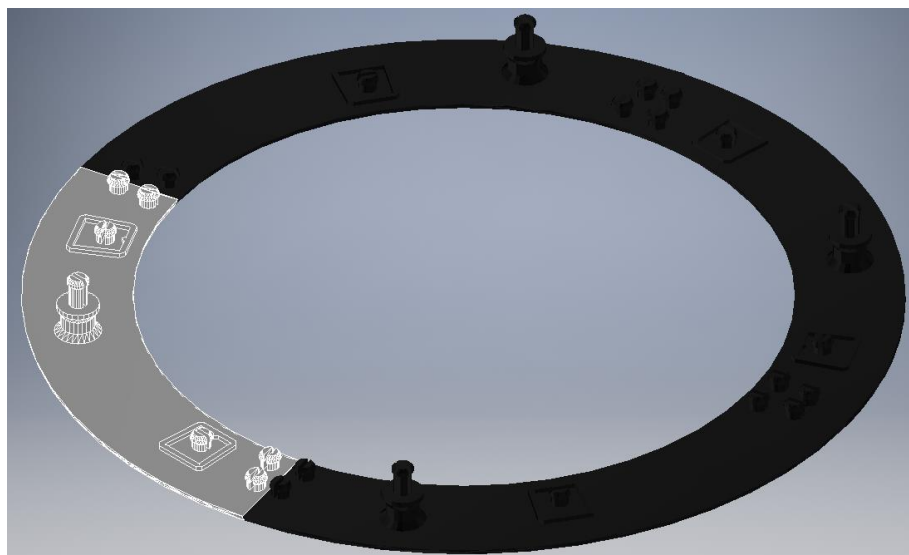


Рисунок 16 – Нижняя часть платформы

Для крепления сканирующей части 3D-сканера к платформе, была спроектирована башня. Её форма позволяет закрепить на ней камеру имеющейся на последней клипсой. Модель башни представлена на рисунке 17.

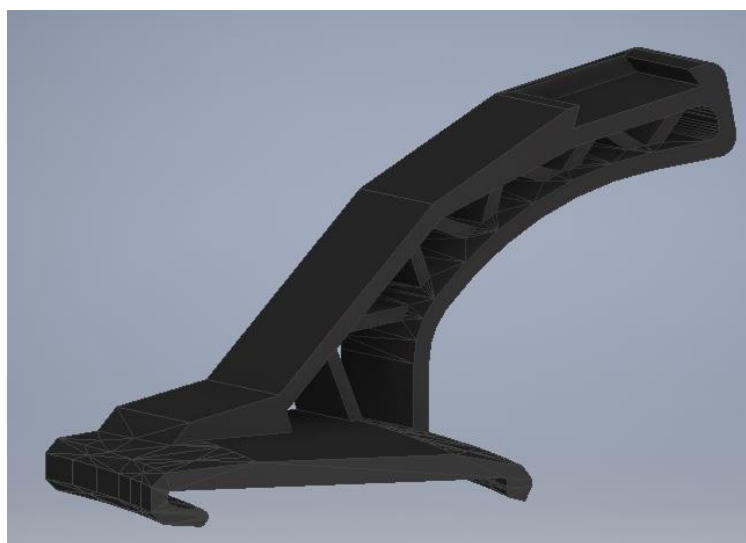


Рисунок 17 – Башня крепления

После проектирования всех элементов вращающейся платформы, была осуществлена их 3D-печать и последующая сборка всей платформы воедино. Готовый макет в сборке представлен на рисунке 18.

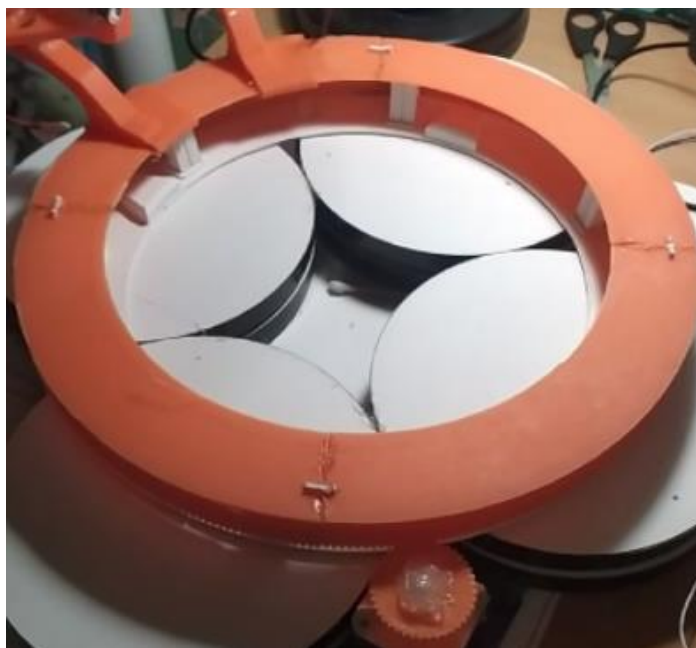


Рисунок 18 – Макет вращающейся платформы в сборке

### **3.3 Разработка функциональной схемы**

Для более подробного описания процессов, протекающих в системе, на основе структурной схемы была разработана функциональная схема.

После того, как объект помещается на сканирующую платформу, оператор запускает выполнение 3D-сканирования на компьютере. Далее, компьютер передает управляющий сигнал на камеру для захвата изображения по интерфейсу USB 2.0, а также, управляющие сигналы на запуск скрипта контроллера, также по интерфейсу USB 2.0. Компьютер получает изображения с камер также по интерфейсу USB 2.0. Контроллер в свою очередь передает управляющие сигналы на включение и выключение лазеров, проецирующих лазерную линию на сканируемый объект, а также передает сигналы на движение шаговому двигателю через драйвер EasyDriver V44 через интерфейс GPIO. Крутящий момент передается через шаговый двигатель на платформу.

Разработанная функциональная схема представлена на рисунке 19.



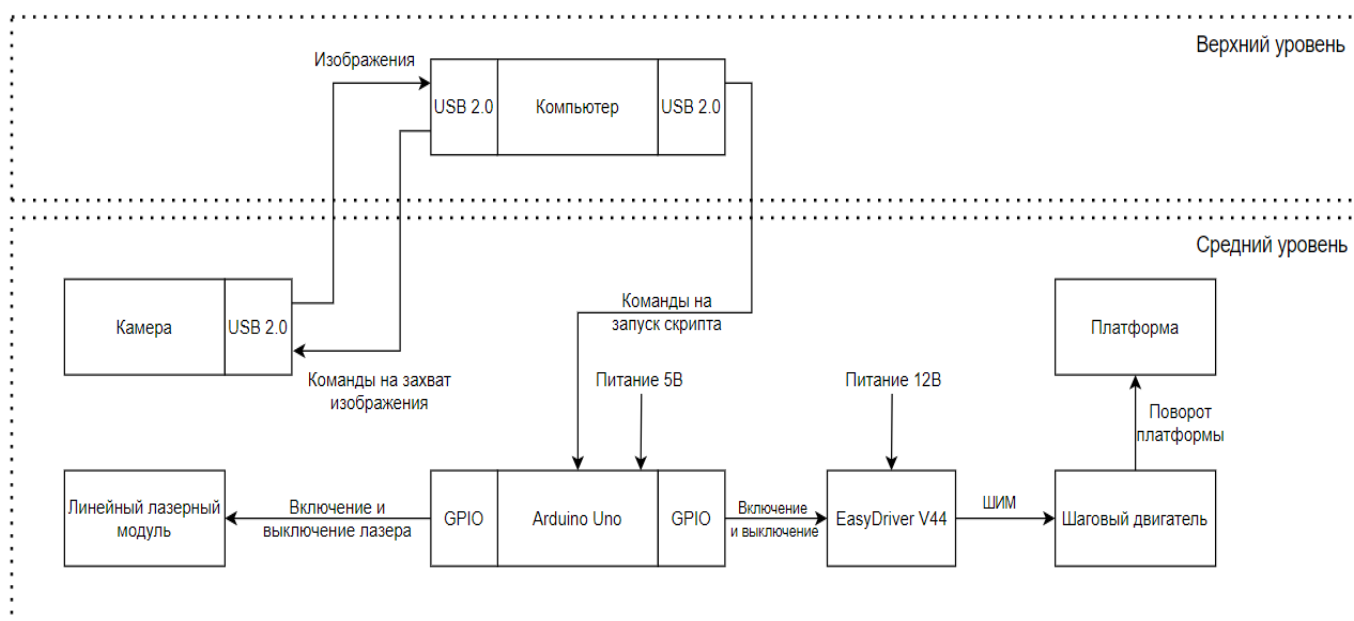


Рисунок 19 – Функциональная схема 3D-сканера биологических объектов

### 3.4 Разработка алгоритма сканирования

Исходя из вышеперечисленных требований к сканеру, а также его структурной и функциональной схем, был разработан алгоритм программы. Учитывая то, что 3D-сканер работает по принципу триангуляции, в блок-схему алгоритма был внесен такой блок, как бинаризация изображения. Бинаризация позволяет «отделить» проецируемую на объект лазерную линию от изображения, что в разы упрощает анализ кривизны объекта.

Совершая оборот вокруг объекта, с каждой итерацией изображения заносятся в массив. Далее, каждая пара изображений анализируется на наличие лазерной линии. После анализа картины и определения координат каждой точки в 3D-пространстве следует этап их занесения в мировую систему координат. После занесения точек происходит поворот мировой системы координат на определенный угол, после чего процесс повторяется до тех пор, пока все изображения не пройдут этап бинаризации.

Итогом сканирования является формирование файла формата .ply, в котором содержится готовое облако точек, представляющее из себя копию сканируемого объекта. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 20.



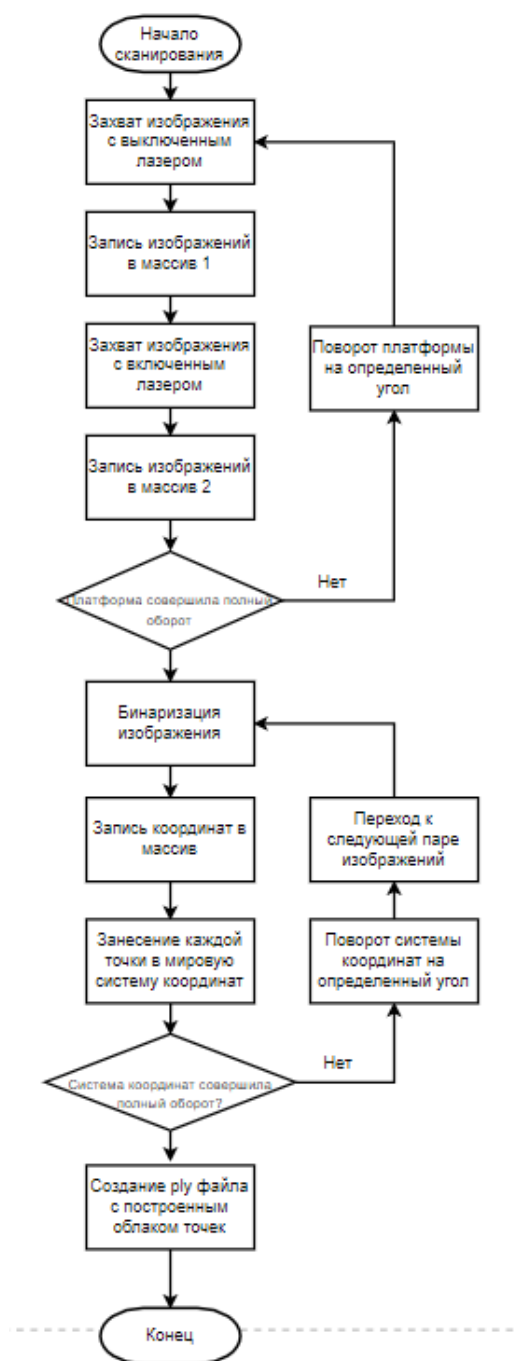


Рисунок 20 – Алгоритм сканирования объекта

### 3.5 Вывод необходимых уравнений

Сканирующая часть состоит из камеры и объекта, проецирующего структурированный свет (лазерную линию) на сканируемый объект. Изображение трехмерного объекта является его проекцией на двумерную плоскость. Извлечь координаты  $X$  и  $Y$  любой точки объекта просто, поскольку они лежат в одной плоскости. Однако, информация, относящаяся к глубине точки относительно центра объекта, неизвестна.

Как уже упоминалось ранее, лазерная триангуляция позволяет извлечь информацию о кривизне объекта, захваченного камерой, путем нахождения неизвестной 3-ей координаты в пространстве.

На вращающуюся платформу были установлены камера и источник света, расположенные под небольшим углом относительно друг друга.

Стоит отметить, что угол лазера относительно линии установки камеры и лазера измерить довольно трудно. Поэтому было принято решение вычислить его теоретически.



Рисунок 21 – Сканирующая часть

В качестве среды, в которой происходит обработка изображений и построение облака точек был выбран пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений Matlab.

Для дальнейшего анализа картины и расчета угла лазера, относительно камеры, требуется откалибровать камеру. Необходимыми для этого параметрами являются фокусное расстояние, измеренное в пиксельных единицах, а также, координаты оптического центра плоскости изображения. Для калибровки камеры было использовано встроенное в пакет Matlab приложение Camera Calibrator. Камерой было захвачено несколько изображений шахматной доски с разных ракурсов.

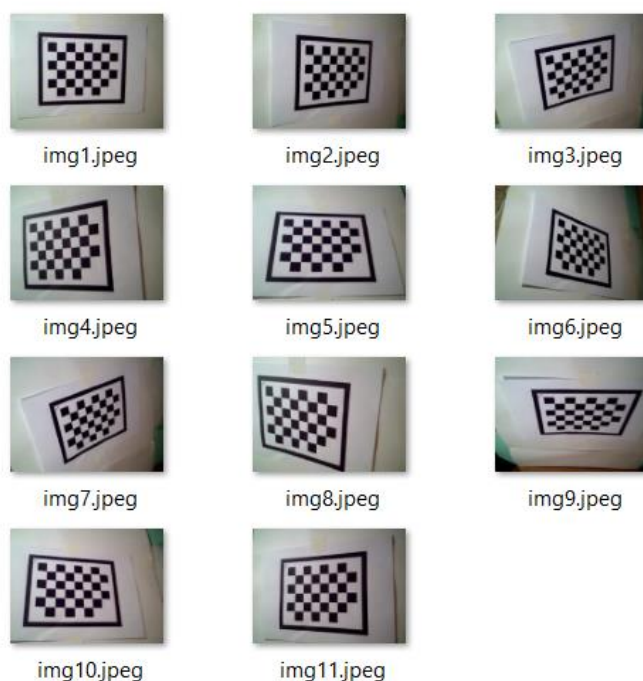


Рисунок 22 – Процесс калибровки камеры

После обработки данных изображений алгоритмами Matlab, были получены искомые параметры: фокусное расстояние  $f = 778$ , координаты оптического центра  $s_x = 314, s_y = 237$ . Для проверки найденного фокусного расстояния используем формулу камеры обскуры:

$$\frac{\Delta x_1}{f} = \frac{\Delta x_0}{Z}, \quad (1)$$

где  $\Delta x_1$  – расстояние между двумя точками в пикселях,  $f$  – фокусное расстояние в пикселях,  $\Delta x_0$  – расстояние между двумя точками в миллиметрах,  $Z$  – расстояние до объекта в миллиметрах.

Перед камерой был помещен объект с отмеченными точками, расстояние между которыми  $\Delta x_0 = 20 \text{ мм}$ . Расстояние до объекта также известно.

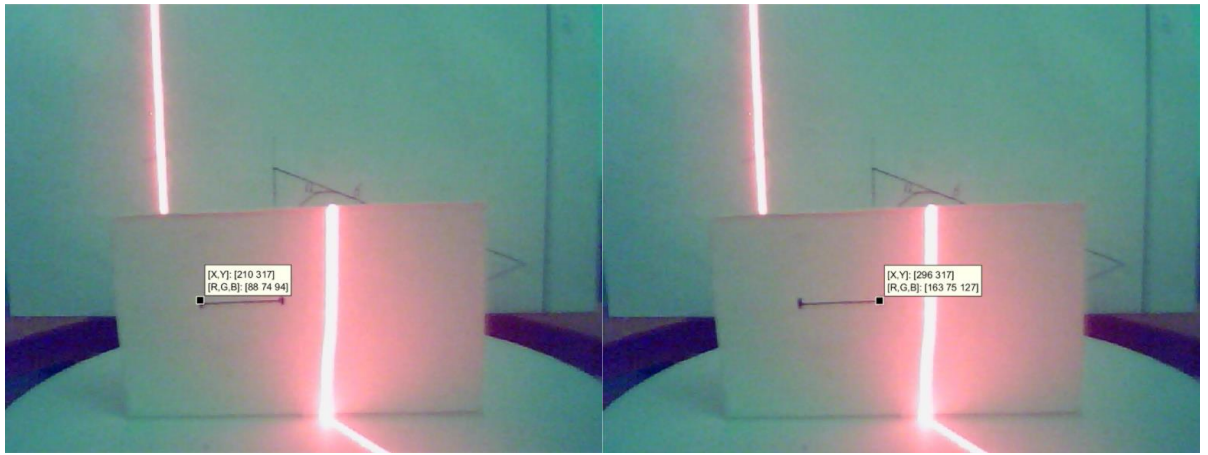


Рисунок 23 – Координаты отмеченных точек

Таким образом:

$$\Delta x_0 = \frac{\Delta x_1 \cdot Z}{f} = \frac{86 \cdot 180}{778} = 19,89 \text{ мм.} \quad (2)$$

Следовательно, параметры камеры, полученные вследствие её калибровки, соответствуют действительности.

Геометрическая модель сканера представлена на рисунке ниже.

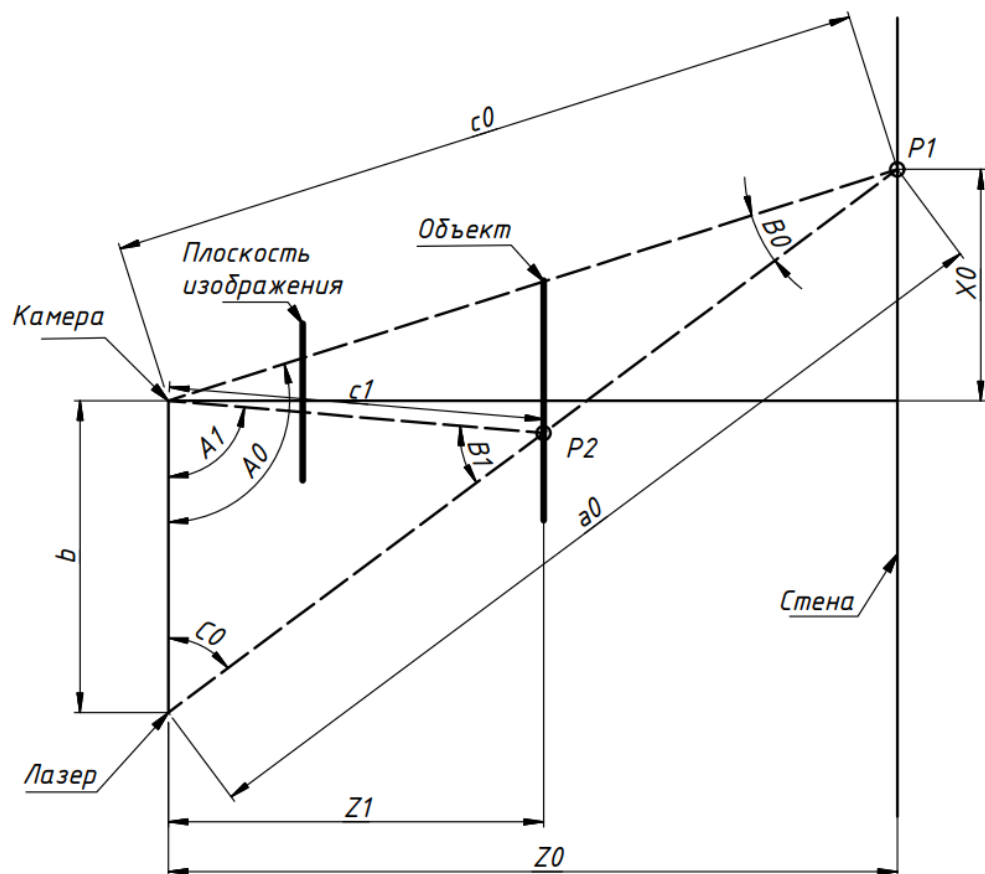


Рисунок 24 – Геометрическая модель сканера

На рисунке ниже представлены координаты точек P1 и P2, необходимых для дальнейших расчетов.

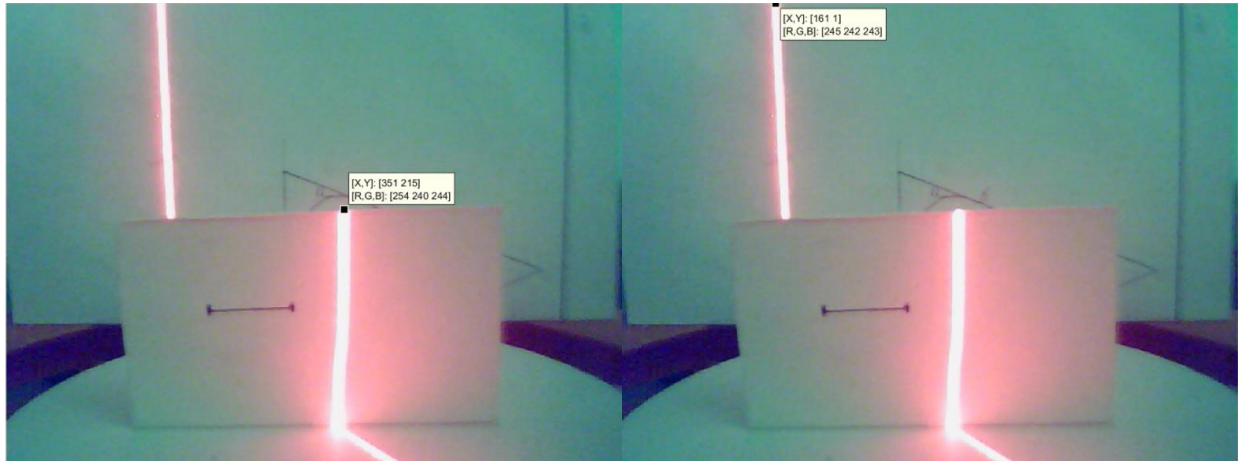


Рисунок 25 – Координаты точек P1 и P2

Первым делом был вычислен угол  $A0$ .

Координаты точек P1 и P2 в плоскости изображения с центром в точке  $cx = 314, cy = 237$ :

$$P1 = [177 - 314, 237 - 1] = [-153, 236]. \quad (3)$$

$$P2 = [356 - 314, 237 - 215] = [37, 22]. \quad (4)$$

Из теоремы синусов следует:

$$\frac{\sin(A0)}{a0} = \frac{\sin(B0)}{b} = \frac{\sin(C0)}{c0}. \quad (5)$$

Из теоремы косинусов следует:

$$a0 = \sqrt{b^2 + c0^2 - 2 \cdot b \cdot c0 \cdot \cos(A0)},$$

$$b = \sqrt{a^2 + c0^2 - 2 \cdot a0 \cdot c0 \cdot \cos(B0)}, \quad (6)$$

$$c0 = \sqrt{b^2 + a0^2 - 2 \cdot b \cdot a0 \cdot \cos(C0)}.$$

Угол  $A0$  был найден путем применения следующего выражения:

$$A0 = 90 - \arctg\left(\frac{P1(x)}{f}\right) = 90 - (-11,1257) = 107,126^\circ. \quad (7)$$

Расстояние до задней стенки  $Z0 = 262 \text{ мм}$ . Из выражения 2 следует:

$$X0 = \frac{Pl(x) \cdot Z0}{f} = \frac{-153 \cdot 262}{778} = -51,52 \text{ мм}. \quad (8)$$

Далее, был найден угол  $C0$ :

$$c0 = \sqrt{X0^2 + Z0^2} = \sqrt{-51,52^2 + 262^2} = 267 \text{ мм}. \quad (9)$$

$$\begin{aligned} a0 &= \sqrt{b^2 + c0^2 - 2 \cdot b \cdot c0 \cdot \cos(A0)} = \\ &= \sqrt{112^2 + 267^2 - 2 \cdot 112 \cdot 267 \cdot \cos(107,126^\circ)} = 318,5 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (10)$$

Из выражения 5 следует:

$$\begin{aligned} \frac{\sin(107,126)}{318,5} &= \frac{\sin(B0)}{112} = \frac{\sin(C0)}{267}, \\ B0 &= \arcsin\left(\frac{\sin(107,126) \cdot 112}{318,5}\right) = 19,7^\circ, \\ C0 &= \arcsin\left(\frac{\sin(107,126) \cdot 126}{318,5}\right) = 53,3215^\circ. \end{aligned} \quad (11)$$

Найденный угол между направлением камеры и направлением лазера  $C0$  позволяет вычислить глубину любой точки лазерной линии, проецируемой на объект.

Опираясь на выражение 5, было выведено уравнение, позволяющее найти глубину точки P2:

$$\begin{aligned} \frac{\sin(A_i)}{a_i} &= \frac{\sin(B_i)}{112} = \frac{\sin(53,3215)}{c_i}, \\ A_i &= 90 - \arctg\left(\frac{P2(x_i)}{f}\right), \\ B_i &= 180 - (A_i + C0), \\ c_i &= \frac{\sin(C0) \cdot b}{\sin(B_i)}, \\ Z_i &= c_i \cdot \cos\left(\arctg\left(\frac{P2(x_i)}{f}\right)\right). \end{aligned} \quad (12)$$

Таким образом, была вычислена глубина точки P2:

$$\begin{aligned}A_1 &= 90 - \arctg\left(\frac{37}{778}\right) = 87,3^\circ, \\B_1 &= 180^\circ - (87,3^\circ + 53,3215^\circ) = 39,3785^\circ, \\c_1 &= \frac{\sin(53,3215^\circ) \cdot 112}{\sin(39,3785^\circ)} = 134 \text{ мм.}, \\Z_1 &= 134 \cdot \cos(2,7^\circ) = 133,7 \text{ мм.}\end{aligned} \tag{13}$$

Применяя данные расчеты, можно вычислить глубину любой точки лазерной линии, проецируемой на объект.

### 3.6 Реализация алгоритма

Главной задачей технического зрения в данной работе является нахождение лазерной линии. Для применения триангуляции к лазерной линии, на изображении последняя должна быть представлена в виде тонкой полоски, шириной в один пиксель. После этого, к каждой точке лазерной линии можно применять уравнения, приведенные выше.

Итогом реализации алгоритма сканирования являются два скрипта Matlab и один скрипт Arduino IDE, листинги которых представлены в приложении.

Первый скрипт Matlab осуществляет захват изображений, поворот платформы, а также включает себя расчет глубины каждой точки лазерной линии бинаризованного изображения. Итогом данного скрипта является облако точек, представленное в формате .ply.

Второй скрипт осуществляет обработку изображения с включённым и выключенным лазером. Изображения вычитаются друг из друга, после чего обрабатываются гауссовским сглаживающим фильтром. Далее, при помощи градиента, находятся границы лазерной линии, после чего находится её середина, являющаяся результатом скрипта. Изображение после бинаризации представлены на рисунке ниже.

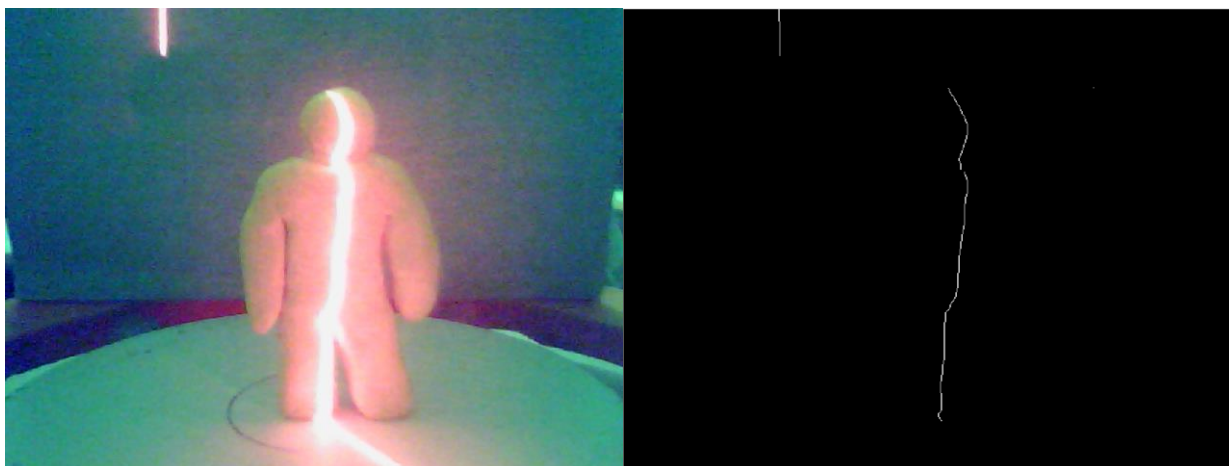


Рисунок 26 – Изображение до и после реализации

После бинаризации происходит нахождение неизвестной координаты по выведенным ранее уравнениям. Умноженные на матрицу поворота вокруг оси Y координаты Y и Z каждой точки заносятся в мировую систему координат.

Матрица поворота вокруг оси Y:

$$M = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Третий скрипт, реализованный в Arduino IDE и предназначенный для управления шаговым двигателем и лазера запускается через COM-порт компьютера, посредством его открытия и закрытия в Matlab.

На шаговый двигатель, с помощью которого осуществляется вращение платформы, было закреплено ведущее зубчатое колесо. Шаговый двигатель с колесом были вплотную соединены с платформой. Рисунок соединения ведущего и ведомого колеса представлен ниже.



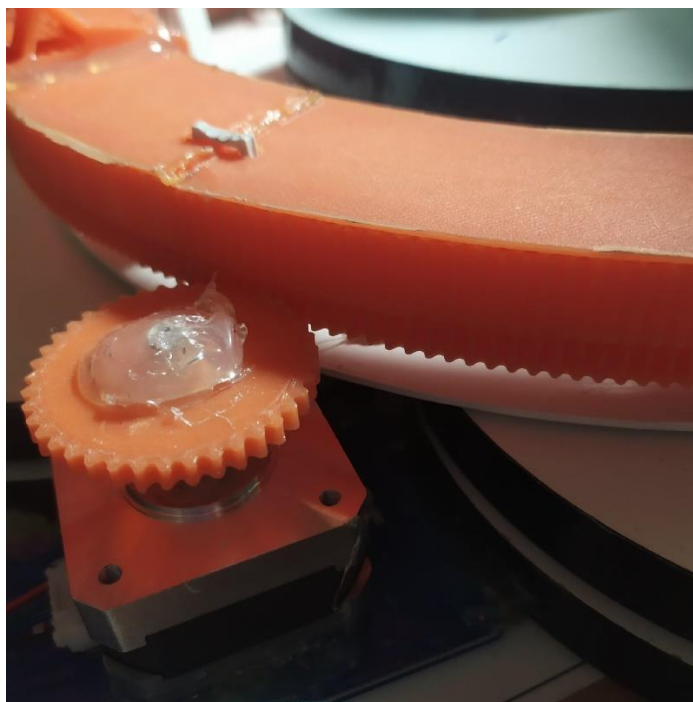


Рисунок 27 – Устройство поворота платформы

Шаговый двигатель был подключен к контроллеру через его драйвер. Было выяснено, что для полного поворота платформы требуется 12830 итераций цикла `while`. Следовательно, если есть необходимость поворачивать сканирующую часть вокруг объекта, к примеру, на 1,85 градусов, то для этого потребуется 66 итераций. Стоит отметить, чем меньше градус поворота, тем точнее будет конечный результат.

Для точной передачи координаты  $Y$  в 3D-пространстве в миллиметрах, следует предусмотреть коэффициент, на который она будет умножаться.

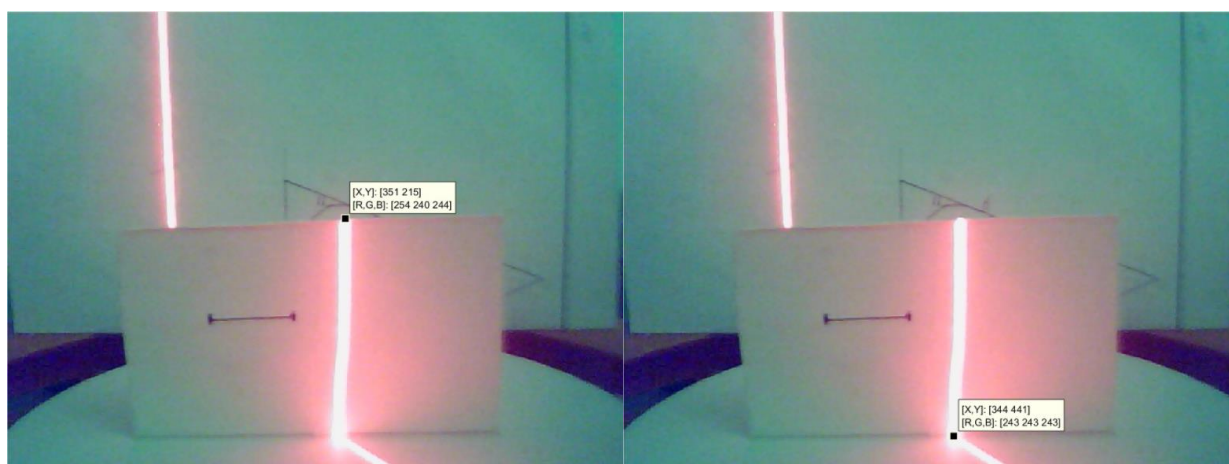


Рисунок 28 – Высота объекта в пиксельных единицах

На рисунках выше можно наблюдать, что высота объекта в пиксельных единицах равна:

$$h = 441 - 215 = 226. \quad (15)$$

Высота объекта в миллиметрах составляет 54 миллиметра. Следовательно, коэффициент для координат Y можно найти из соотношения:

$$Y_{mult} = \frac{54}{226} = 0,239. \quad (16)$$

### 3.6.1 Результаты сканирования

3D-сканер в сборке представлен на рисунке ниже.

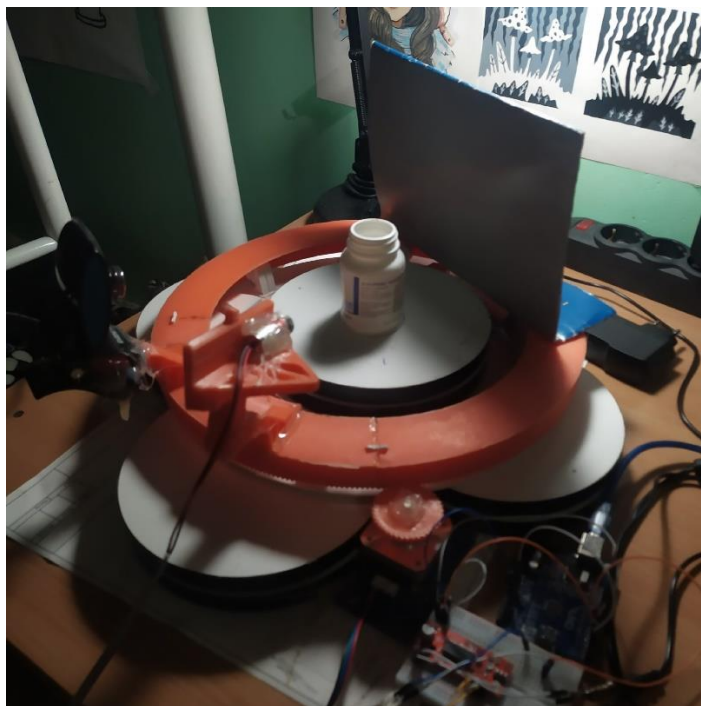


Рисунок 29 – 3D-сканер в сборке

На платформу для сканирования была помещена немного деформированная пластиковая банка, после чего был запущен основной скрипт 3D-сканера в Matlab. Результат сканирования данного объекта представлен на рисунке 30.

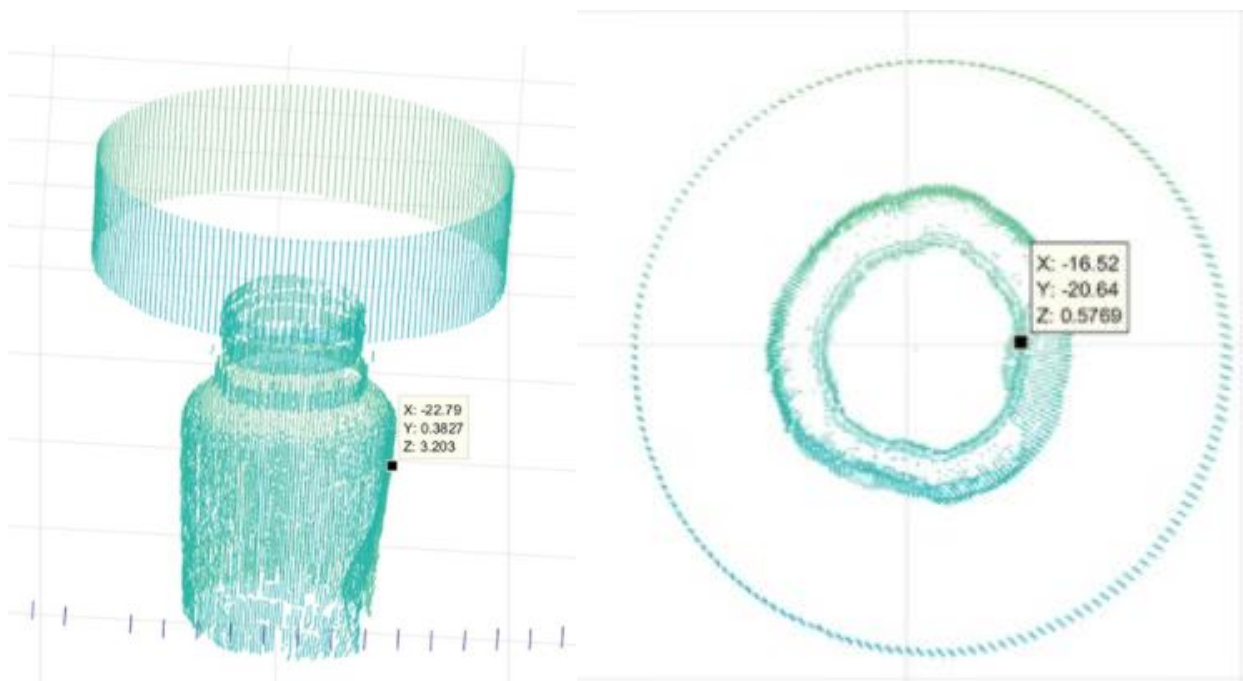


Рисунок 30 – Результат сканирования

Первый результат сканирования показал, что форма объекта передается верно. Диаметр верхней окружности объекта составляет 31 мм. Построенное облако точек обеспечило точность с погрешностью в 0.5 миллиметров. Деформированные участки также отразились довольно точно.

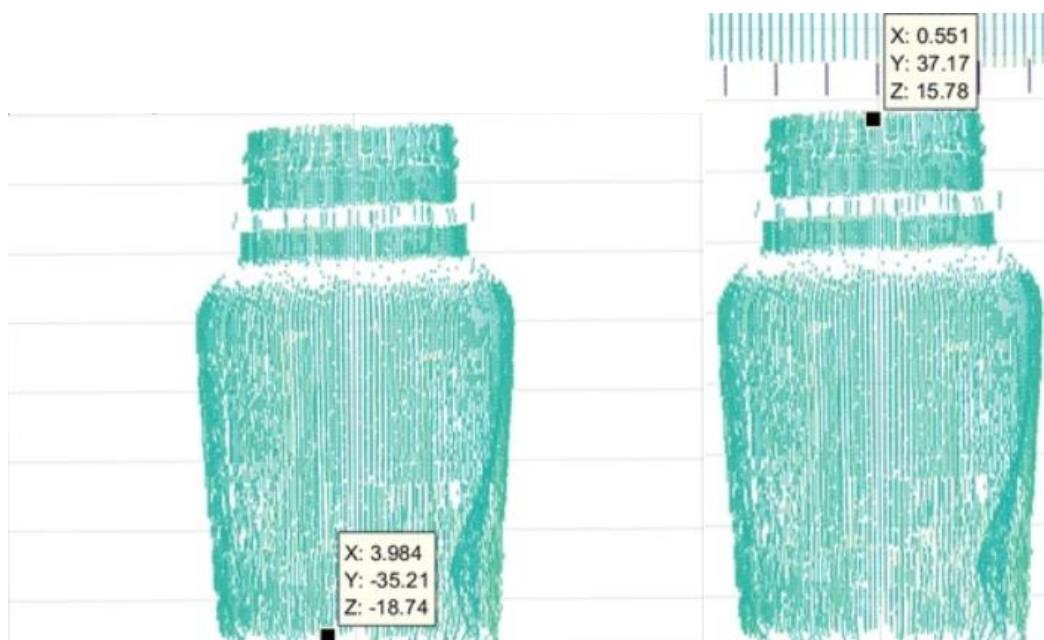


Рисунок 31 – Результат сканирования

С другого ракурса можно заметить, что диаметр банки сужается в сторону основания. Это связано с тем, что направление камеры не параллельно земле, в следствие чего изображение слегка искажается.

Высота объекта составляет 71 мм. Построенное облако точек обеспечило точность с погрешностью в 0.38 мм.

Время сканирования составило 3 минуты 20 секунд. Время достаточно большое вследствие малых вычислительных мощностей компьютера. Также сюда входит время на перезапуск скрипта в контроллере и время на захват камерой изображений и передача их компьютеру.

После внесения некоторых поправок в положение камеры относительно земли и основной скрипт, было проведено еще одно сканирование. В качестве сканируемого объекта выступил глиняный человечек.



Рисунок 32 – Сканируемый объект

Сканируемый объект имеет форму схожую с человеком, присутствуют ноги, руки и голова. В корпусе имеются вкрапления, сделанные с целью изучить способность сканера воспроизводить информацию о впалях объекта. Построенное облако точек представлено на рисунке 33.



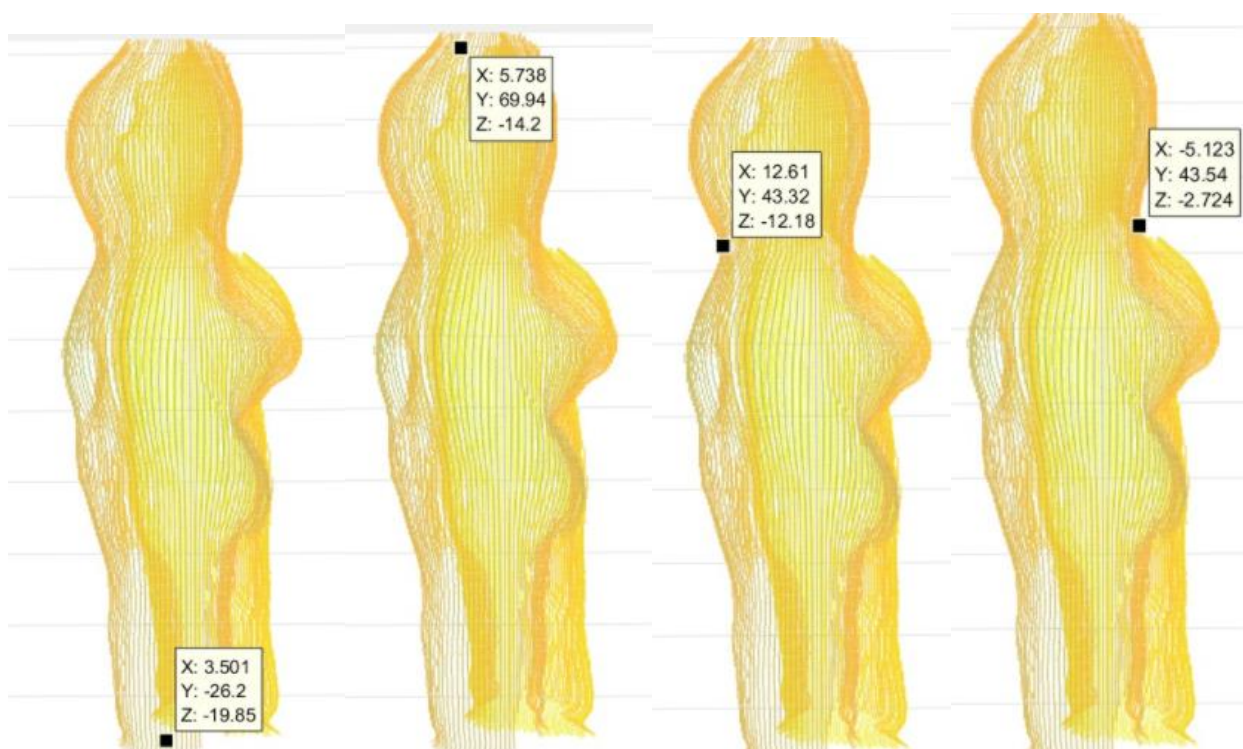


Рисунок 33 – Результат сканирования

Высота объекта составляет 96 мм. Построенное облако точек обеспечило точность с погрешностью в 0.14 мм. Ширина объекта в области шеи с приведенного ракурса равняется 18 мм. Построенное облако точек обеспечило точность с погрешностью в 0.27 мм.

Для полного представления о способности сканера воспроизводить форму объекта, была построена его 3D-модель при помощи программной системы для обработки трехмерных сеток Meshlab. Облако точек было помещено в среду, после чего были выбраны следующие значения параметров для построения 3D-модели объекта:

- compute normal for point sets (вычисление нормалей вершин сетки) – для 3000 соседних точек.
- surface reconstruction: Screened Poisson (алгоритм, создающий сплошную поверхность из ориентированных наборов точек) – Reconstruction depth – 16, Minimum number of samples – 3.

На рисунках ниже представлена построенная благодаря алгоритмам Meshlab 3D-модель сканируемого объекта в сравнении с самим объектом.



Рисунок 34 – Построенная 3D-модель

Построенные 3D-модели напоминают отсканированный объект, однако его текстура передана неверно. В некоторых местах четко виднеются полосы сканирования, что может быть связано как с большим шагом прохода вокруг объекта, так и со встроенным алгоритмом Meshlab. Также виднеются небольшие артефакты в области ног, которые имеются еще на этапе построения облака точек. Вероятно, это связано с проблемой вычисления лазерной линии на этапе бинаризации. Впалости на задней стороне объекта также отражены,

однако маленькая точка внутри впадины на голове не отражена на конечном результате. Проблема детализации связана также с разрешением камеры.

Опыты показывают, что сканирование при отсутствии освещения дают лучшие результаты, на этапе бинаризации в этом случае присутствует меньше шумов, что уменьшает шанс возникновения ошибки при расчетах.

### **3.7 Выводы по результатам применения технологии**

В ходе экспериментов со сканированием объектов различных форм, было выяснено, что технология лазерной триангуляции может быть применена для сканирования биологических объектов, однако, с некоторыми оговорками. Рассмотрим условия, которые должны быть соблюдены для более хороших результатов.

1. Угол лазера должен быть вычислен настолько точно, насколько это возможно, дабы избежать искажений при расчете кривизны объекта.

2. Положение камеры должно быть параллельно плоскости сканируемой платформы. В противном случае, результат не будет соответствовать действительности.

3. Сканирование должно проводиться при слабом или в полном отсутствии освещения. В противном случае, появляются шумы, которые препятствуют правильному определению лазерной линии на изображении.

4. Качество конечной 3D-модели зависит от величины градуса поворота сканирующей платформы. В случае разработанного сканера, максимальным шагом поворота является 2 градуса.

5. Конечности сканируемого объекта должны быть плотно прижаты к телу. В противном случае облако точек будет неоднородным, ввиду отсутствия дополнительного канала сканирования, собирающего информацию о внутренней стороне той или иной части тела.

Таким образом, были предложены следующие улучшения данного 3D-сканера.

1. Для уменьшения времени сканирования необходимо использовать больше каналов сканирования в горизонтальной плоскости.

2. Для улучшения качества передаваемой формы и текстуры объекта необходимо использовать камеру большего разрешения.
3. Для передачи более полной информации о кривизне объекта в труднодоступных местах, необходимы дополнительные каналы сканирования.
4. Сканер должен быть огражден от внешних источников света тем или иным способом.
5. Применение среды Matlab для разработки подобных систем требует высоких вычислительных мощностей компьютера.



## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности**

#### **4.1.1 Объем рынка**

Компания International Data Corporation (IDC) опубликовала прогноз по мировому рынку устройств для 3D-сканирования объектов на несколько ближайших лет.

Итак, сообщается, что в ближайшие годы мировой рынок 3D-сканеров ожидает быстрое развитие. Так, в период с 2019 по 2023 год среднегодовой темп роста в сложных процентах (показатель CAGR) прогнозируется на уровне 21,2 %. В результате, к 2023-му объём отрасли в штучном выражении превысит 635 млн единиц.

Если рассматривать рынок в деньгах, то величина CAGR в указанный период составит 15,8 %. В 2023 году расходы в области 3D-сканеров достигнут практически \$3,0 млрд.

Аналитики IDC говорят, что быстрому развитию отрасли способствуют несколько факторов. Это расширение функциональности устройств и улучшение сопутствующего программного обеспечения. Кроме того, постепенно снижается стоимость оборудования. Наконец, говорится о расширении сферы применения 3D-сканеров.

Объем рынка устройств для 3D сканирования в России в 2016 г. составил 358 шт., что эквивалентно \$943,7 тыс. Темп прироста был равен 67,3% от натурального объема рынка и 35,9% от стоимостного объема.

Наибольший объем рынка устройств для 3D сканирования приходится на ARTEC. Доля компании составляет 19% натурального объема рынка и 34% стоимостного [5].

#### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

На данный момент существует множество 3D-сканеров, предназначенных для сканирования объектов различной формы и структуры

(ручные, интраоральные, автоматические системы сканирования людей). В таблице 11 приведена оценочная карта для сравнения данных конкурентных технических решений.

Таблица 11 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Разрабатываемая система	Ручные сканеры	Автоматические системы	Разрабатываемая система	Ручные сканеры	Автоматические системы
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Быстродействие	0,13	3	4	4	0,39	0,52	0,52
Удобство в эксплуатации	0,11	5	4	4	0,55	0,44	0,44
Устойчивость	0,12	4	5	4	0,48	0,6	0,48
Энергоэкономичность	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
Безопасность	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
Простота эксплуатации	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
Конкурентоспособность	0,09	3	4	4	0,27	0,36	0,36
Цена	0,13	5	2	2	0,65	0,26	0,26
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Уровень проникновения на рынок	0,06	4	5	5	0,24	0,3	0,3
Итого	1	42	39	39	4,16	3,82	3,8

Исходя из результатов оценочной карты, приведенной в таблице 2, можно сделать вывод, что разрабатываемая система имеет право на

существование. Предлагаемый продукт является конкурентоспособным по большинству показателей относительно предлагаемых аналогов.

#### 4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – метод планирования, который заключается в том, чтобы выявить факторы внутренней и внешней среды организации, и делении их на 4-ре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). На первом этапе были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для его реализации [6]. Результаты представлены в таблице 12.

Таблица 12 – SWOT-матрица

Сильные стороны: С1. Низкая стоимость С2. Энергоэкономичность	Слабые стороны: Сл1. Отсутствие инвесторов Сл2. Отсутствие клиентской базы
Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок В2. Расширение сферы предоставляемых услуг В3. Увеличение спроса	Угрозы: У1. Нестабильная экономическая ситуация в стране У2. Конкуренция с другими разработчиками 3D-сканеров

Второй этап – обнаружение соответствий сильных и слабых сторон разработанного проекта условиям окружающей среды. Интерактивные матрицы представлены в таблицах 13-16.

Таблица 13 – Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей проекта

	Сильные стороны		
Возможности		C1	C2
	B1	0	0
	B2	+	-
	B3	+	-

Таблица 14 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей проекта

	Слабые стороны		
Возможности		Сл1	Сл2
	B1	0	+
	B2	0	+
	B3	+	+

Таблица 15 – Интерактивная матрица сильных сторон и угроз проекта

	Сильные стороны		
Возможности		С1	С3
	У1	+	-
	У2	+	-

Таблица 16 – Интерактивная матрица слабых сторон и угроз проекта

	Слабые стороны		
Возможности		Сл1	Сл2
	У1	+	+
	У2	+	+

В рамках третьего этапа была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 17.

Таблица 17 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Быстродействие</p> <p>С2. Энергоэкономичность</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Отсутствие инвесторов</p> <p>Сл2. Отсутствие клиентской базы</p>
--	--	---

Продолжение таблицы 17 – SWOT-анализ

<p><b>Возможности:</b></p> <p><b>В1.</b> Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p><b>В2.</b> Расширение сферы предоставляемых услуг</p> <p><b>В3.</b> Увеличение спроса</p>	<p>Увеличение спроса повлечет за собой улучшение качества разрабатываемой системы.</p> <p>Низкая стоимость системы будет свидетельствовать о повышении стоимости конкурентных решений.</p>	<p>Из-за увеличения спроса и повышении стоимости конкурентных разработок решится проблема отсутствия клиентской базы.</p> <p>Увеличение спроса на продукт, с большей вероятностью, привлечет инвесторов.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p><b>У1.</b> Нестабильная экономическая ситуация в стране</p> <p><b>У2.</b> Конкуренция с другими разработчиками САУ</p>	<p>Увеличение конкуренции будет говорить о снижении стоимости и улучшении качества конечного продукта</p>	<p>В результате существования на рынке нескольких конкурентных решений, возникнут сложности с клиентской базой.</p>

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В ходе выполнения данного проекта участвовали научный руководитель и студент. Структура работ в рамках проекта представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Этапы выполнения научной исследовательской работы

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент
Выбор направления исследования	2	Обзор научно-технической литературы	Студент

Продолжение таблицы 18 – Этапы выполнения научной исследовательской работы

Выбор направления исследования	3	Календарное планирование работ	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Разработка структурной схемы	Студент
	5	Выбор комплектующих	Студент
	6	Разработка функциональной схемы	Студент
	7	Составление принципиальной схемы	Студент
	8	Разработка алгоритма управления	Руководитель, студент
	9	Реализация	Студент
Оформление отчета по НИР	10	Написание пояснительной записки	Студент

#### 4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости можно воспользоваться следующей формулой:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимальная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимальная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из расчета ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{q_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода каждого этапа из рабочих дней в календарные использовалась следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения i-й работы в календарных днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 52 - 12} = 1,21,$$

где  $T_{кал}$  – календарные дни;

$T_{вых}$  – выходные дни;

$T_{пр}$  – праздничные дни.

Далее, зная все необходимые значения, были рассчитаны временные показатели проведенных работ, которые представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Временные показатели проведенных работ

№ работы	Трудоемкость работ			Исполнители, чел.	$T_{pi}$ , раб. дн.	$T_{ki}$ , раб. дн.
	$t_{min}$ , чел.-дн.	$t_{max}$ , чел.-дн.	$t_{ожи}$ , чел.-дн.			
1	5	8	6,2	НР, С	3,1	4
2	3	6	4,2	С	4,2	5
3	2	4	2,8	С	2,8	4
4	7	14	7,2	С	7,2	9
5	2	4	2,8	С	2,8	3
6	15	20	17	С	8,5	10
7	6	9	7,2	С	7,2	9
8	20	30	24	НР, С	24	29

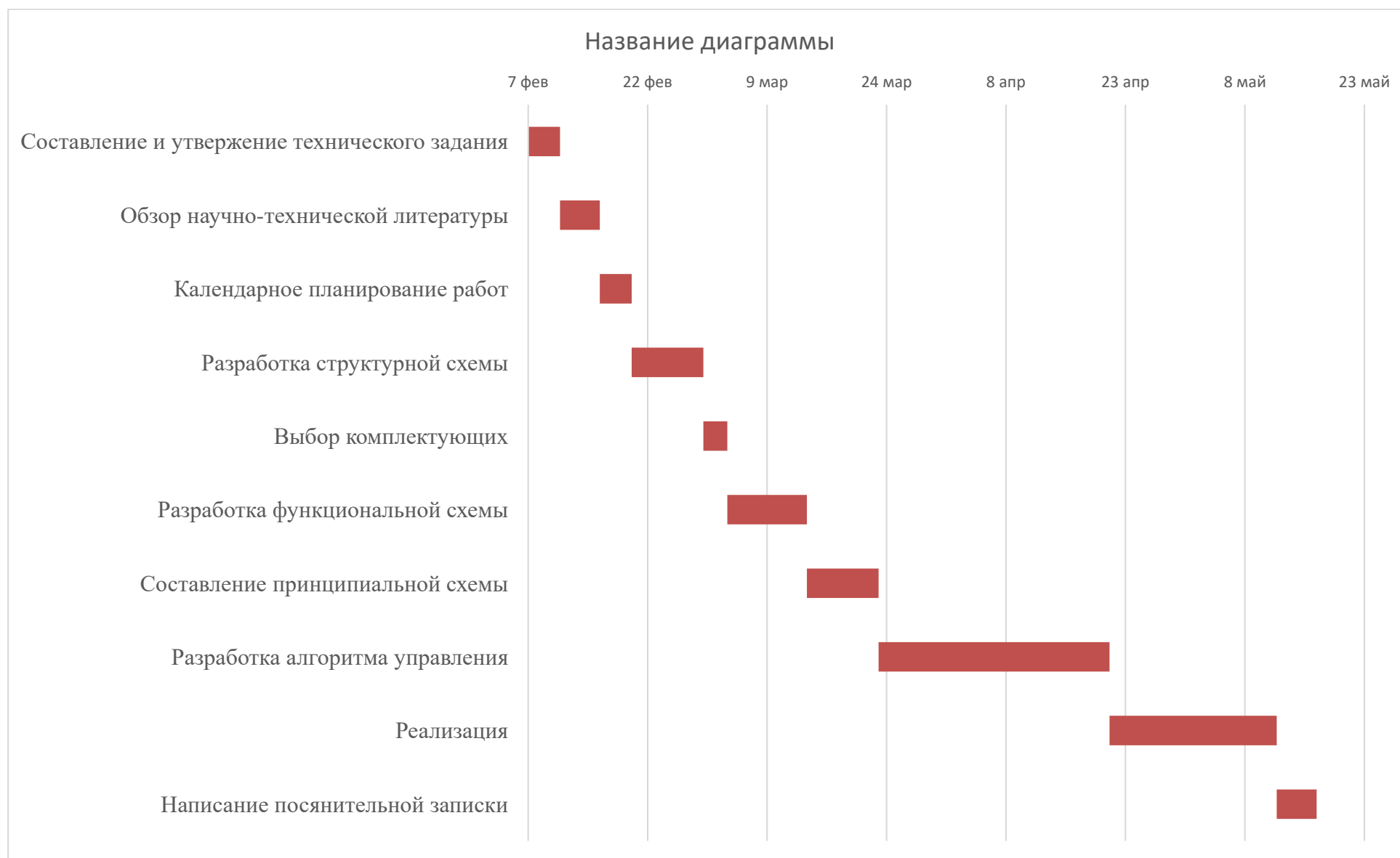
Продолжение таблицы 19 – Временные показатели проведенных работ

9	30	40	34	С	17	21
10	3	5	3,8	С	3,8	5
<b>Итого</b>						<b>99</b>

Исходя из приведенной выше таблице, была составлена Диаграмма Ганта, представляющая собой календарный план работ [7]. Диаграмма приведена в таблице 20. Синим цветом отмечены задачи, которые выполняет руководитель, красным – студент, а зеленым – студент совместно с руководителем.



Таблица 20 – диаграмма Ганта



### 4.3 Разработка графика проведения научного исследования (НТИ)

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_i^m C_i \cdot N_{расх},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении проекта;

$N_{расх}$  – количество материальных ресурсов одного вида, планируемых к использованию в проекте;

$C_i$  – цена приобретения единицы вида потребляемых ресурсов;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, равный 20%.

Расчеты представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Микроконтроллер Arduino Uno	шт.	1	780	936
Веб-камера Sven IC-350	шт.	1	1160	1392
Шаговый двигатель 17HS2408	шт.	1	700	840
Линейный лазерный модуль SYD1230	шт.	1	200	240
Катушка пластика ABS	шт.	1	1100	1320
Драйвер EasyDriver V44	шт.	1	110	132

Продолжение таблицы 21 – Материальные затраты

Паяльные принадлежности	шт.	1	200	240
Провода «Male-Female» 100 шт.	шт.	1	100	120
<b>Итого:</b>				<b>5220</b>

#### 4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Для проведения научных исследований необходимо специальное оборудование, затраты на которые приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Количество	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
3D-принтер	1	23	23
Станция паяльная KADA 852A	1	3,2	3,2
<b>Итого:</b>			<b>26,2</b>

#### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата работника может быть рассчитана по приведенной ниже формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_{раб},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$З_{он}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{он} = \frac{(З_M \cdot M)}{F_D},$$

где  $З_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_D$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	64	64
Потери рабочего времени	40	30
Действительный годовой фонд рабочего времени	261	271

Месячный оклад работника рассчитывается по формуле:

$$З_M = З_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_D) \cdot k_p,$$

где  $З_{мс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_D$  – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,3;

$k_p$  – районный коэффициент.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Основная заработная плата

Исполнители	$З_{мс}$ , руб.	$k_p$ , руб.	$З_M$ , руб.	$З_{он}$ , руб.	$T_{раб}$ , дн.	$З_{осн}$ , руб.
Руководитель	19 500	1,3	25 350	1 042,05	38	40 776,10
Студент	7 500	1,3	9 750	394,22	91	32 874,02
<b>Итого:</b>						<b>73 650,12</b>

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы производится по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 73\,650,12 = 11\,047,51 \text{ руб.},$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы.

#### 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды может быть рассчитана по следующей формуле:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	40 776,10	32 874,02
Дополнительная заработная плата, руб.	6 116,415	4 931,103
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды, %	27,1	27,1
Отчисления во внебюджетные фонды, руб.	12 707,87	10 245,18
<b>Итого:</b>	22 953,05	

#### 4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов.

Накладные расходы могут быть рассчитаны по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (\text{сумма пунктов } 1 \div 5) = 20841,7 \text{ руб.},$$

где  $k_{\text{накл}}$  - коэффициент, учитывающий накладные расходы, равный 15%.

#### 4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Для того чтобы рассчитать величину затрат научно-исследовательской работы необходимо сложить все полученные до этого затраты. Определение бюджета затрат приведено в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	5220
2. Затраты на специальное оборудование	26 600
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	73 650,12
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	11 047,51
5. Отчисления во внебюджетные фонды	22 953,05
6. Накладные расходы	20 841,7
Бюджет затрат НИИ	160 311

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.и}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $\Phi_{pi}$  – стоимость варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта, принятая 500 тыс. руб.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования может быть определен как:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $a_i$  – весовой коэффициент варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка варианта исполнения разработки.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}.$$

В качестве вариантов исполнения разработки были выбраны предлагаемый в данной работе продукт, аналог 1 – Ручные сканеры и аналог два – Автоматические системы сканирования людей. Сравнительная характеристика приведена в таблице 27.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Способствует росту производительности труда	0,2	5	5	5

Продолжение таблицы 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Удобство в эксплуатации	0,2	5	4	5
Помехоустойчивость	0,1	4	5	5
Энергосбережение	0,2	5	5	4
Надежность	0,2	4	3	4
Материалоемкость	0,1	4	4	5
Итого	1	4,6	4,3	4,6

На основании полученных показателей было выполнено сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки в таблице 28.

Таблица 28 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,104	0,858	0,71
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,3	3,6
Интегральный показатель эффективности	44,2	5	5
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,11	0,11

Исходя из результатов сравнительного анализа эффективности аналогов, приведенного в таблице 19, можно сделать вывод, что разрабатываемая система имеет право на существование.



## **5 Социальная ответственность**

С развитием научного прогресса безопасность жизнедеятельности человека играет огромную роль на производстве. В соответствии с требованиями безопасности была создана наука, которая помогает обеспечить безопасность жизнедеятельности человека (БЖД). БЖД – это комплекс мероприятий, направленных на обеспечение безопасности человека в окружающей его среде обитания, сохранение его здоровья, разработку методов и средств защиты путём снижения влияния вредных и опасных факторов до допустимых значений, выработку мер по ограничению ущерба в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени

С каждым годом возрастает интенсивность применения компьютерной техники в сферах жизнедеятельности человека. При работе с компьютером человек подвергается воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов: электромагнитных полей, радиочастотному (высоких, ультравысоких и средних частот), инфракрасному излучению, шуму и вибрации, статическому электричеству. Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением, высокой напряженностью зрительной работы и большой нагрузкой на кисти рук при работе с периферийными устройствами ЭВМ.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства, характерные для проектируемой рабочей зоны.**

Государственный надзор и контроль в организациях осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами. К таким органам относятся Федеральная инспекция труда, Государственная экспертиза условий труда, Федеральная служба по труду и занятости населения, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России) Федеральная служба по надзору в

сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др. Так же в стране функционирует Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), положение о которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации, в соответствии с которым, система объединяет органы управления, силы и средства

К проектируемому макету 3D-сканера биологических объектов применим сидячий режим работы для оператора. Оператор отдает команды на работу, а также принимает данные от него сканера через компьютер.

### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рассмотрению подлежит ГОСТ 12.2.032-78 [8] который устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя при проектировании нового и модернизации действующего оборудования и производственных процессов.

Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зоны досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях для средних размеров тела человека приведены на рисунках ниже.

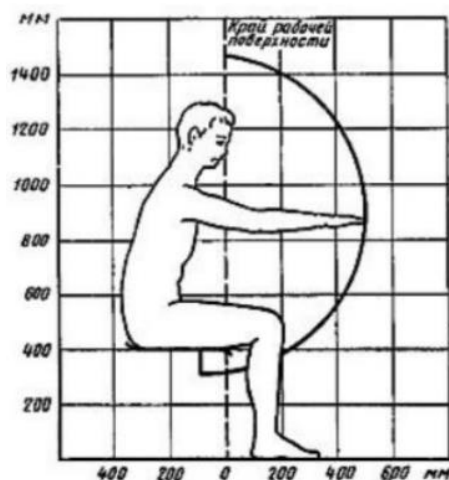


Рисунок 35 – Зона досягаемости моторного поля в вертикальной плоскости

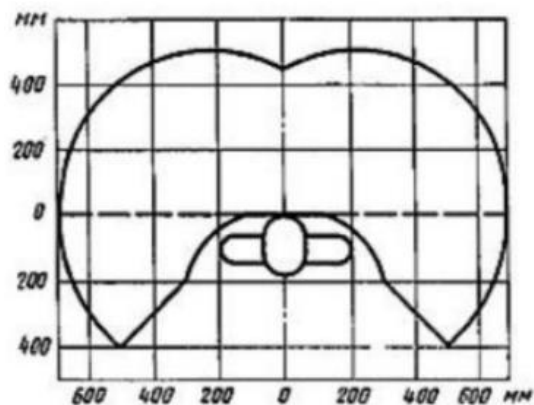


Рисунок 36 – Зона досягаемости моторного поля в горизонтальной плоскости при высоте рабочей поверхности над полом 725 мм

Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления приведены на рисунке ниже.

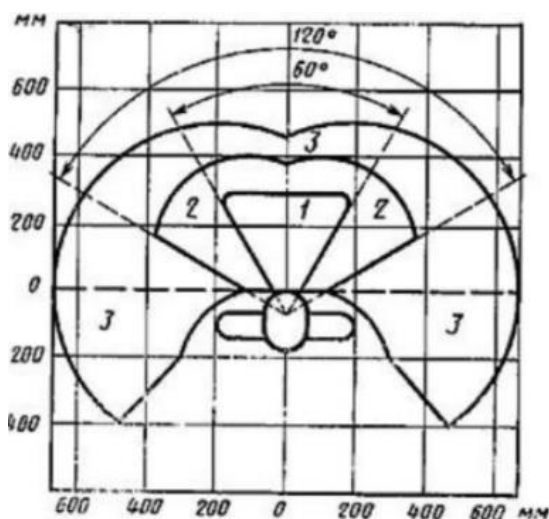


Рисунок 37 – 1 - зона для размещения наиболее важных и очень часто используемых органов управления (оптимальная зона моторного поля); 2 - зона для размещения часто используемых органов управления (зона легкой досягаемости моторного поля); 3 - зона для размещения редко используемых органов управления (зона досягаемости моторного поля)

В случаях, когда невозможно осуществить регулирование высоты рабочей поверхности и подставки для ног, допускается проектировать и изготовлять оборудование с нерегулируемыми параметрами рабочего места.

Числовые значения этих параметров определяют по таблице, приведенной ниже.

Таблица 29 – Значения числовых параметров высоты рабочего места

Наименование работы	Высота рабочей поверхности, мм, при организации рабочего места		
	Женщин	Мужчин	Женщин и мужчин
Очень тонкие зрительные работы	930	1020	975
Тонкие работы	835	905	870
Легкие работы	700	750	725
Печатание на машинке, типографских станках, сборочная работа более крупных деталей и др.	630	680	655

Таблица 30 – Значения числовых параметров высоты сиденья

Пол работающего	Высота сиденья, мм
Женщины	400
Мужчины и женщины	420
Мужчины	430

Зоны зрительного наблюдения в вертикальной и горизонтальной плоскости приведены на рисунках ниже

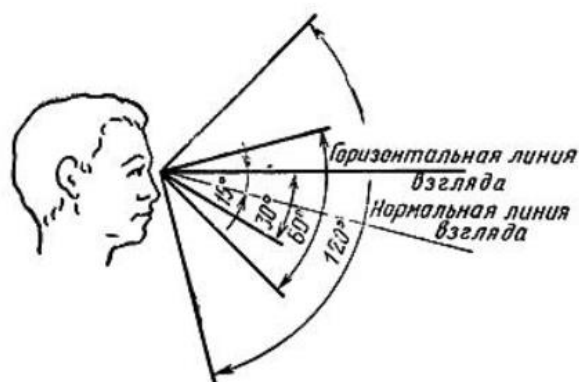


Рисунок 38 – Зоны зрительного наблюдения в вертикальной плоскости

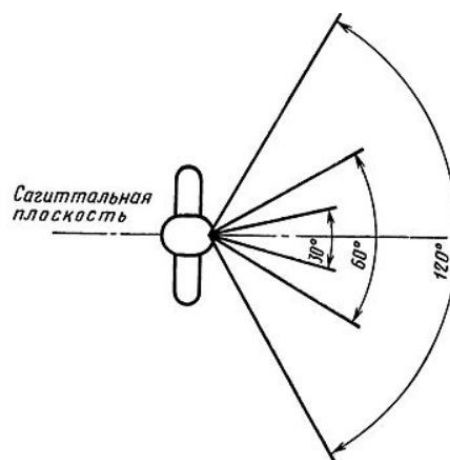


Рисунок 39 – Зоны зрительного наблюдения в горизонтальной плоскости

Данные, приведенные выше, важно учитывать при компоновке эргономичного рабочего места.

## 5.2 Производственная безопасность

Для определения опасных факторов, рассмотрению подлежит ГОСТ 12.0.003-2015 [9] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Опасные и вредные факторы, характерные, для проектируемой производственной среды представлены в таблице ниже.

Таблица 31 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	Разр абот ка	Изго товл ение	Эксп луат ация	

Продолжение таблицы 31 – Возможные опасные и вредные факторы

Отклонение показателей микроклимата	-	-	-	ГОСТ 12.1.019-2017 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.  ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля
Превышение уровня шума	-	+	+	
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
Недостаточная освещенность рабочей зоны	-	+	+	
Повышенная напряжённость электрического поля	+	+	+	
Поражение электрическим током	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (1 октября 1996 г. N 21).

### 5.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Благоприятные метеорологические условия на производстве являются важным фактором в обеспечении высокой производительности труда и в

профилактике заболеваний. При несоблюдении гигиенических норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к категории лёгких работ. В соответствии с временем года и категорией тяжести работ определены параметры микроклимата согласно требованиям СанПиН 2.2.4.548 – 96 [10] и приведены в таблице ниже.

Таблица 32 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1а (до 139)	23-25	21-25	40-60	0,1
Теплый	1а (до 139)	20-22	22-26	50-60	0,1

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха.

В целях защиты работающих от возможного перегревания или охлаждения, при температуре воздуха на рабочих местах выше или ниже допустимых величин, время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено

### 5.2.2 Превышение уровня шума

Одним из важных факторов, влияющих на качество выполняемой работы, является шум. Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д. Такие нарушения в работе ряда органов и систем организма человека могут вызвать негативные изменения в эмоциональном состоянии человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-

психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда. Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах, является 80 дБа [11].

Таблица 33 – Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Распространенные средства индивидуальной защиты от шума – это пробки, наушники, вкладыши (беруши) и шлемы.

Меры коллективной защиты могут включать в себя, в частности:

- оценку риска потери слуха работником.
- использование малошумных машин.
- использование материалов и конструкций, препятствующих распространению шума и вибрации.
- привлечение к работам лиц, не имеющих медицинских противопоказаний по шуму.
- контроль правильности использования средств индивидуальной защиты.

### **5.2.3 Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны**

Правильное освещение помещений и рабочих зон одно из главных условий создания безопасных и благоприятных условий труда. При недостаточной освещенности развивается утомление зрения, понижается общая работоспособность и производительность труда, возрастает количество брака, повышается опасность производственного травматизма, низкая освещенность способствует развитию близорукости.



Рабочая зона или рабочее место разработчика освещается таким образом, чтобы можно было отчетливо видеть процесс работы, не напрягая зрения, а также исключается прямое попадание лучей источника света в глаза. Кроме того, уровень необходимого освещения определяется степенью точности зрительных работ. Наименьший размер объекта различения составляет 0.5 - 1 мм. В помещении отсутствует естественное освещение. По нормам освещенности и отраслевым нормам, работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений. Нормирование освещенности при работе за персональным компьютером представлено в таблице ниже [12].

Таблица 34 – Нормирование освещенности для работы за ПК

Характеристика зрительных работ	Высокой точности	
	От 0,3	От 0,5
Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм		
Разряд зрительной работы	Б	
Подразряд зрительной работы	1	2
Относительная продолжительность зрительной работы, %	Более 70	Менее 70
Освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк	300	200
Цилиндрическая освещенность, лк	100	75
Показатель дискомфорта	40	60
Коэффициент пульсации освещенности, %	15	20
КЕО при верхнем освещении, %	3,0	2,5
КЕО при боковом освещении, %	1,0	2,7

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК, представлены в таблице ниже.

Таблица 35 – Требования к освещению на местах, оборудованных ПК

Освещенность на рабочем столе	300-500 лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м <sup>2</sup>
Прямая блескость источника света	200 кд/м <sup>2</sup>
Показатель ослепленности	Не более 20
Показатель дискомфорта	Не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации	не более 5%

#### **5.2.4 Повышенная напряженность электрического поля.**

В результате работы электронных устройств, таких как мониторы и персональные электронно-вычислительные машины, в аудитории может возникать повышенная напряженность электрического поля.

Повышенная напряженность электрического поля оказывает негативное воздействие на человека, выражаемая в виде торможения рефлексов, нарушения памяти, ухудшения работы головного мозга, понижения кровяного давления, нарушений в печени и селезенке, замедления сокращений сердца, помутнения хрусталика глаза.

Исходя из гигиенических требований к персональным электронно-вычислительным машинам пребывание в электрическом поле напряженностью до 5кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня, а нахождение в поле напряженностью от 5 до 20 кВ/м допускается в течение одного часа. Необходимо отслеживать время, проведенное за работой, при необходимости осуществлять перерывы и проветривать помещение.

### **5.2.5 Поражение электрическим током.**

Даже самая надежная изоляция теряет свои свойства при длительной эксплуатации в сложных производственных условиях. Опасность поражения электрическим током существенно возрастает, если человек находится в помещении с металлическим полом или контактирует с оборудованием, находящихся вблизи заземленных металлических предметов.

Для того, чтобы избежать поражение электрическим током, помещение, где размещается рабочее место и разрабатываемое устройство, должно быть оборудовано защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации. Основными техническими средствами защиты, являются защитное заземление, как указывалось ранее, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Перед началом работы с разрабатываемым объектом необходимо изучить правила электробезопасности, которые описаны в требованиях к электробезопасности.

### **5.3 Экологическая безопасность**

В данном подразделе необходимо рассмотреть характер воздействия проектируемого модуля на окружающую среду, а также выявить предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате его изготовления.

#### **5.3.1 Влияние объекта исследования на окружающую среду**

К моменту, когда жизненный цикл продукта будет подходить к концу, необходимо будет избавиться от комплектующих системы, что может вызвать загрязнение литосферы. Следовательно, нужно продумать варианты утилизации составляющих разработки. Корпус, состоящий по большей части из пластмассы может быть переработан для вторичного использования.

#### **5.3.2 Влияние процесса исследования и изготовления на окружающую среду**

На этапе прототипирования используются такие станки, как 3д-принтер и лазерный станок. Для очистки удаляемого воздуха от вредных примесей с

участков лазерной резки, применяются фильтрующие модули с двухступенчатой очисткой воздуха: 1-ая ступень от твердой фазы загрязняющих веществ и 2-ая ступень угольные фильтры – от газообразной фазы. В дальнейшем в угольных картриджах меняется только сорбент: смесь неимпрегнированных и импрегнированных активированных углей. После того, как угольные фильтры перестают очищать воздух, сорбент сдается в специальные приемники, где подвергаются утилизации. Бракованные детали и обрезки, образовавшиеся в ходе лазерной резке, подлежат утилизации.

При 3д-печатаи используется АБС-пластик, который является токсичным [13]. При работе с таким пластиком подразумевается его переработка или утилизация в спецприемниках. Эффективной технологической стадией переработки отходов АБС является сушка полимера, позволяющая довести содержание влаги в нем до уровня, не превышающего 0,1 %.

Однако способ прямого прессования оказывается малопроизводительным, а экструзия полимера затрудняется из-за его высокой вязкости.

Перспективной представляется переработка технологических отходов АБС – полимера методом литья под давлением. При этом для улучшения текучести полимера необходимо вводить технологические добавки.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

На объект могут возникать чрезвычайные ситуации следующего характера:

- техногенные
- экологические
- природные

Наиболее типичной ЧС для помещения, котором производится выполнение работы, является пожар. Данная ЧС может произойти в случае замыкания электропроводки оборудования, неправильная эксплуатация электроприборов и станков, не соблюдению мер пожаробезопасности и т.д.

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Пожарная профилактика включает комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожара или уменьшение его последствий. Активная пожарная защита – меры, обеспечивающие успешную борьбу с пожарами или взрывоопасной ситуацией.

Возникновение пожара в помещении, где установлена вычислительная и оргтехника, приводит к большим материальным потерям и возникновению чрезвычайной ситуации. Чрезвычайные ситуации приводят к полной потере информации и большим трудностям восстановления всей информации в полном объёме.

Для исключения возникновения пожара необходимо:

- вовремя выявлять и устранять неисправности;
- не использовать открытые обогревательные приборы, приборы кустарного производства в помещении лаборатории;

определить порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначить ответственного за их проведения.

## **Заключение**

В ходе выполнения данной работы был разработан недорогостоящий макет 3D-сканера биологических объектов, способный воспроизводить информацию о форме сканируемого объекта в виде облака точек, при помощи которых на этапе пост-обработки возможно построение 3D-модели объекта. Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Проведен обзор существующих техник 3D-сканирования, а также обзор существующих аналогов разработанного устройства и их анализ.
2. Разработан перечень элементов с учетом специфики разрабатываемого макета.
3. Разработана 3D-модель сканирующей части 3D-сканера.
4. Разработаны структурная и функциональные схемы.
5. Разработан алгоритм работы разрабатываемого макета.
6. Выполнена сборка устройства.
7. Проведены тестовые испытания для определения работоспособности.
8. Проведен анализ результатов и предложены пути улучшения разработанного устройства.

Проведенные эксперименты и испытания показали, что данный 3D-сканер является работоспособным решением для сканирования биологических объектов, при соблюдении ряда условий.

Проведенные исследования данной технологии сканирования могут помочь в дальнейших теоретических и конструкторских работах по 3D-сканированию различных объектов.

## Список литературы

1. Что такое 3D-сканер и как он работает? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://make-3d.ru/articles/chto-takoe-3d-skaner-i-kak-on-rabotaet/> – свободный (дата обращения 1.10.20)
2. Создание 3D-сканера из вебкамеры и лазера [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/247423/> – свободный (дата обращения 1.10.20)
3. Области применение 3D-сканеров [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3d.globatek.ru/3d-scanners/use/> – свободный (дата обращения 3.10.20)
4. Комплексные 3D решения [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://3dtool.ru/category/3d-skanery/?gclid=Cj0KCQiArvX\\_BRCyARIsAKsnTxO5Hk\\_NKXRiQUe16GQ8EOlhkUcQn0L42rthelaocLhuckhd-NL0RDYaAgwvEALw\\_wcB](https://3dtool.ru/category/3d-skanery/?gclid=Cj0KCQiArvX_BRCyARIsAKsnTxO5Hk_NKXRiQUe16GQ8EOlhkUcQn0L42rthelaocLhuckhd-NL0RDYaAgwvEALw_wcB) – свободный (дата обращения 1.11.20)
5. Digital Resiliency Strategies for the Future Enterprise [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.idc.com/> – свободный (дата обращения 20.12.20)
6. Методика проведения SWOT-анализа. Образцы матриц SWOT [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://marketing.by/novosti-rynka/metodika-provedeniya-swot-analiza-obraztsy-matrits-swot/> – свободный (дата обращения 29.04.21)
7. Диаграмма Ганта [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.elma-bpm.ru/KB/help/Projects/content/User\\_Diagramma\\_Ganta\\_index.html](https://www.elma-bpm.ru/KB/help/Projects/content/User_Diagramma_Ganta_index.html) – свободный (дата обращения 29.04.21)
8. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работы сидя. Общие эргономические требования.
9. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

10. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
11. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Санитарные нормы. Физические факторы производственной среды. Физические факторы окружающей природной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
12. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ.
13. Вред ABS пластика при печати. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/kwt-8/vred-abs-plastika-pri-pechaty> – свободный (дата обращения 29.04.2021)
14. Охрана труда и техника безопасности: учебник для прикладного бакалавриата / Г. И. Беляков – Москва: изд-во Юрайт, 2016 г. – 404 с.
15. Андрей Кузнецов. Современные 3D-сканеры: распахнутая дверь в виртуальное пространство. Холдинг РБК, 2012 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zoom.cnews.ru/publication/item/35820> – свободный (дата обращения 25.03.2021)
16. Кайл С. Ближняя фотограмметрия и 3D-зрение: Пер с англ. М.: ЛЕНАНД, 2018. – 704с.
17. Гужов В.И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения: учеб. пособие // Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – 82 с.
18. Хорн Б.К.П. Зрение роботов: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 487с., ил.
19. Буянов С.С. Перспективы использования 3D-технологий для развития информационно-аналитической платформы «История современной России» // Genesis: исторические исследования № 06 – 2014. - 75-97 с.



## **Приложение А**

Листинги программ в средах Matlab и Arduino IDE

## Листинг 1 – Основной код управления сканером

```

1  clear all
2  close all
3  vidobj = videoinput('winvideo', 2, 'YUY2_640x480'); %Определение камеры
4  a = serial('COM4','BaudRate',9600);
5  set(vidobj,'ReturnedColorSpace','rgb');
6  angle = 1;
7  rot = 2;
8  pic1 = getsnapshot(vidobj);
9  imgSize = size(pic1);
10 %cam = webcam('USB2.0 Camera')
11 imgArray1=cat(4);
12 imgArray2=cat(4);
13 % Переменные
14 f = 778; % Фокусное расстояние
15 cx = 314; % Оптический центр x
16 cy = 237; % Оптический центр y
17 b0 = 112; % Расстояние между лазером и камерой
18 C0 =53.3215; % Угол лазера
19 Y_mltply = 0.22;%коэффициент для координат Y
20 trY = 20;
21 ytZ = -188;
22 loop = angle*rot;
23 all_loops = round(360/loop);
24 MaxPoints = imgSize(1);
25 cordW = zeros(MaxPoints,3,all_loops);
26 % Запуск алгоритма
27 for Tm = 1:all_loops
28 val=0;
29 fopen(a); %Открытие порта
30 frameOff=getsnapshot(vidobj);
31 imgArray1(:,:,,Tm)= frameOff; %Помещение изображения в массив
32 pause(0.9);
33 fprintf(a,'%i',val); %Передача сигнала на запуск контроллеру
34 frameOn=getsnapshot(vidobj);
35 imgArray2(:,:,,Tm)= frameOn; %Помещение изображения в массив
36 fclose(a); %Закрытие порта
37 end
38 for Tm = 1:all_loops
39 Laser = []; % Координаты точек лазерной линии
40 CamCoordPts = []; % Массив X; Y; Z; точек
41 Line = Filter(vidobj,imgSize,imgArray1,imgArray2,Tm);
42 % Конвертация линии лазера в координаты камеры
43 counter = 1;
44 for i = 1:imgSize(1)
45 for i1 = 1:imgSize(2)
46 testpt = Line(i,i1);
47 if testpt == 1
48 Laser(1,counter) = i1-cx;
49 Laser(2,counter) = cy-i;

```

```

50 counter = counter+1;
51 end
52 end
53 end
54 % Определение мировой координаты для каждого Y
55 sizeDisx = size(Laser);
56 for i = 1:sizeDisx(2)
57 delta_px_x0 = Laser(1,i);
58 A0 = 90+atand(delta_px_x0/f);
59 B0 = 180 - (A0+C0);
60 a0 = (sind(A0)*b0)/sind(B0);
61 h1 = a0*cosd(atand(delta_px_x0/f));
62 CamCoordPts(3,i)=h1;
63 CamCoordPts(2,i) = Y_mltply*Laser(2,i);
64 end
65 CamCoordPts(1,:) = 0;
66 % Перевод координат в мировую систему координат
67 M = [ 1 0 0 0;
68 0 1 0 trY;
69 0 0 1 trZ;
70 0 0 0 1;];
71 theta=(Tm-1)*loop; % Новый угол
72 Trans = [cosd(thetaW),0,sind(theta),0;0,1,0,0;-sind(theta),0,cosd(theta),0;0,0,0,1];
%Матрица поворота
73 Coord = [];
74 counterct = 1;
75 for i = 1:sizeDisx(2)
76 Coord(:,i) = M*[CamCoordPts(1,i);CamCoordPts(2,i);CamCoordPts(3,i);1];
77 counterct = counterct+1;
78 end
79 for i = 1:sizeDisx(2)
80 CordW(:,i) = Trans*[Coord(1,i);Coord(2,i);Coord(3,i);1];
81 End
82 transCW = transpose(CordW(1:3,:));
83 sRc = size(CordW);
84 if sRc(2)==MaxPoints
85 cordW(:, :, Tm) =transCW;
86 else
87 transCW(sRc(2):MaxPoints,:)=0;
88 cordW(:, :, Tm) =transCW;
89 end
90 end
91 xyzPoints = [];
92 scW = size(cordW);
93 counter = 1;
94 for i0 = 1:scW(3)
95 for i1 = 1:scW(1)
96 xyzPoints(counter,:)=cordW(i1,:,i0);
97 counter=counter+1;
98 end
99 end
100 ptCloud =pointCloud( xyzPoints);
101 ptCloud = pcdenoise(ptCloud);
102 pcwrite(ptCloud,'PointCloudOutput','PLYFormat','binary'); %Запись облака точек
% в формат PLY
103 figure; pcshow(ptCloud); %Вывод облака точек в трехмерном пространстве

```

## Листинг 2 – Функция определения лазерной линии

```

1  function Mask = Filter(vidobj,imgSize,imgArray1,imgArray2,Tm)
2  frameOff=imgArray1(:,:,:,Tm);
3  frameOn=imgArray2(:,:,:,Tm);
4  frameongray=frameOn(:,:,1)-((frameOn(:,:,2)+ frameOn(:,:,3))/2));
5  frameoffgray = frameOff(:,:,1)-((frameOff(:,:,2)+ frameOff(:,:,3))/2));
6  snap3=imgaussfilt(frameongray-frameoffgray,3);
7  I_new =zeros(size(snap3));
8  for iy = 1:imgSize(1)
9  xme = max(snap3(iy,:));
10 xme1 = max(find(snap3(iy,)==xme));
11 I_new(iy,xme1) = 1;
12 end
13 snap = I_new;
14 snap = bwareaopen(snap,20);
15 I_c = zeros(size(snap));
16 for iy = 1:imgSize(1)-1
17 for ix = 1:imgSize(2)
18 I_c(iy,ix,:) =snap(iy+1,ix,:)-snap(iy,ix,:);
19 end
20 end
21 I_R =zeros(size(snap));
22 for iy = 1:imgSize(1)
23 for ix = 1:imgSize(2)-1
24 I_R(iy,ix,:) =snap(iy,ix+1,:)-snap(iy,ix,:);
25 end
26 end
27 I_G =zeros(size(snap));
28 for iy = 1:imgSize(1)-1
29 for ix = 1:imgSize(2)-1
30 I_G(iy,ix,:) = sqrt((I_c(iy,ix,)^2)+(I_R(iy,ix,)^2));
31 end
32 end
33 I_G = bwareaopen(I_G,20);
34 Mask = zeros(size(I_new));
35 for y0 = 1:imgSize(1)
36 meanx = round(mean(find(I_G(y0,)==1))); %Нахождение центра лазерной линии
37 if isnan(meanx) == 1
38 Mask(y0,:)= 0;
39 Else
40 Mask(y0,meanx)= 1;
41 end
42 end
43 end

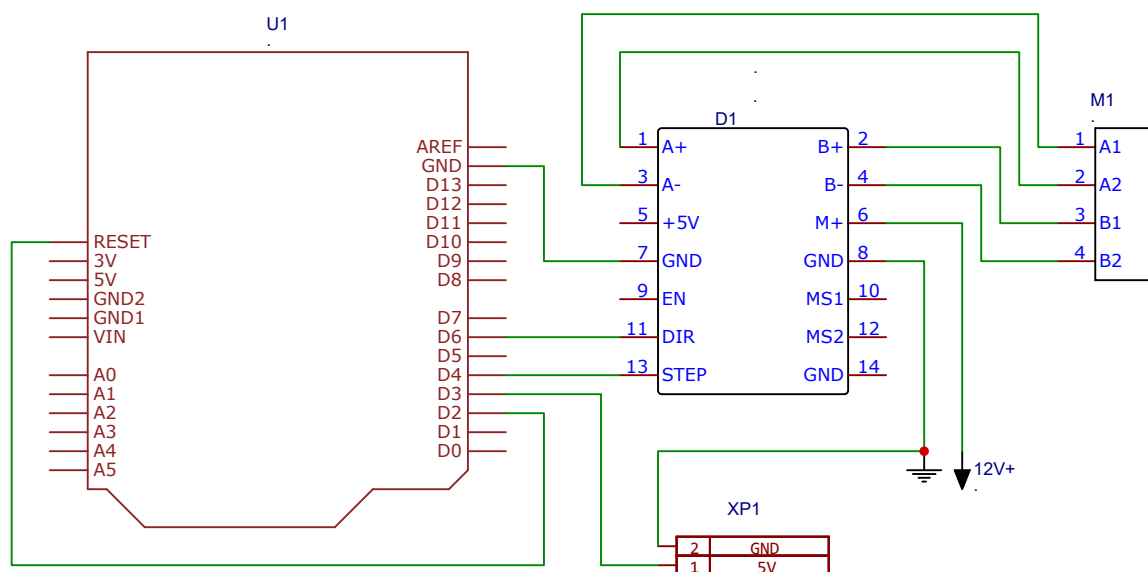
```

### Листинг 3 – Код управления шаговым двигателем и лазером в Arduino IDE

```
1 void setup() {
2   Serial.begin(9600);
3   pinMode(4, OUTPUT); //Установка режима работы цифрового пина
4   pinMode(5, OUTPUT);
5   pinMode(6, OUTPUT);
6   digitalWrite(2, HIGH);
7   pinMode(2, OUTPUT);
8   int i = 0;
9 }
10 void motor(float i) {
11 while (i<71.28) //Поворот платформы на 2 градуса за одну итерацию
12 {
13 digitalWrite(5, LOW);
14 digitalWrite(4, HIGH);
15 delay(1);
16 digitalWrite(4, LOW);
17 delay(1);
18 i++;
19 }
20 }
21 void loop() {
22 if (Serial.available()) //Проверка поступления сигналов на запуск алгоритма
23 { float i = 0;
24 // digitalWrite(4, HIGH); //Включение и выключение лазера
25 // delay(500);
26 // digitalWrite(4, LOW);
27 //delay(500);
28 digitalWrite(6, HIGH);
29 delay(1000);
30 digitalWrite(6, LOW);
31 motor(i); // Запуск функции поворота шагового двигателя
32 digitalWrite(2, LOW);
33 }
34 }
```

## **Приложение Б**

### **Принципиальная схема**



					ФЮРА.431281.009ЭЗ					
					Приципиальная электрическая схема	Литера		Масса	Масштаб	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						1:1
Разраб.		Петров Д.Ю.		26.04						
Пров.		Филипас А.А.								
Т.контр.										
						Лист			Листов	
Н.контр.						ТПУ ИШИТР Группа 8Е72				
Утв.										

[illegible]



## **Приложение В**

### **Чертежи сборочных единиц**

ФЮРА.408524.009		Перв. примен.		Справ. №	
-----------------	--	---------------	--	----------	--

Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата	

ФЮРА.408524.009				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Петров Д.Ю.			25.05.2021
Пров.	Филипас А.А.			
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Верхняя часть вращающейся платформы			Лит.	Масса	Масштаб
				0,3	1:3
			Лист	Листов	1
			ТПУ ИШИТР Группа 8Е72		

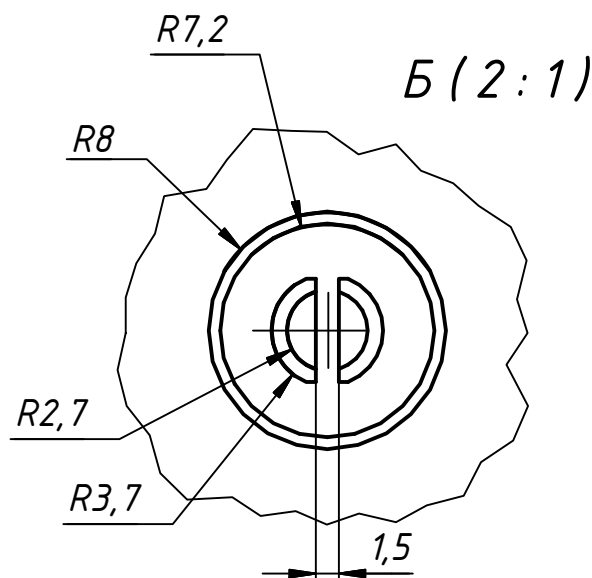
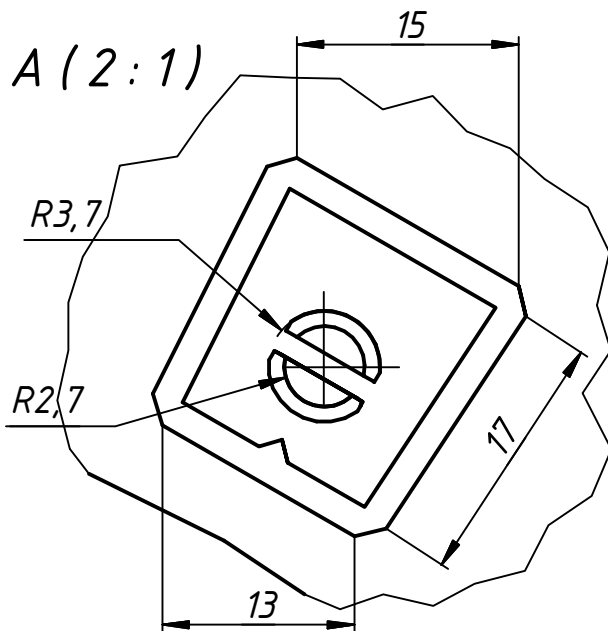
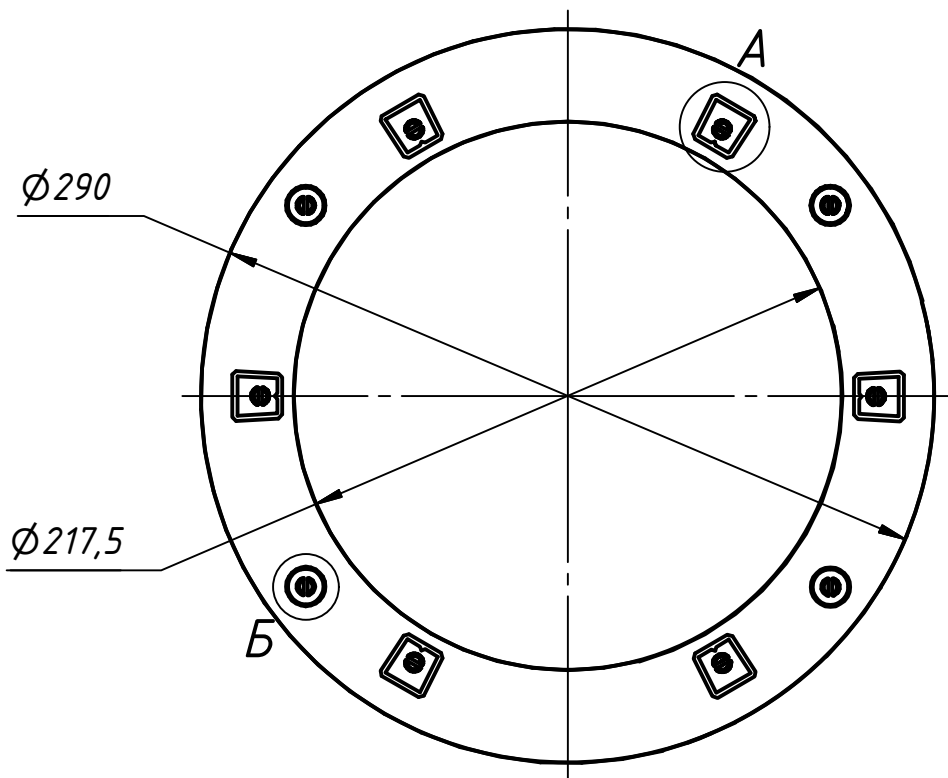
  

Копировал
Формат А4

ФЮРА.408524.009

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.408524.009

Основание вращающейся  
платформы

Лит.	Масса	Масштаб
		1:3
Лист	Листов	1
ТПУ ИШИТР Группа 8Е72		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Петров Д.Ю.		25.05.2021
Пров.		Филипас А.А.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Копировал

Формат А4

		ФЮРА.303815.009	
Перв. примен.			
Справ. №			
Подп. и дата			
Инв. № дубл.			
Взам. инв. №			
Подп. и дата			
Инв. № подл.			
		ФЮРА.303815.009	
		Ведущее зубчатое колесо	
		Лит. Масса Масштаб	
		3:1	
		Лист Листов 1	
		ТПУ ИШИТР Группа 8Е72	
		Копировал Формат А4	

ФЮРА.301322.009

Перв. примен.

Справ. №

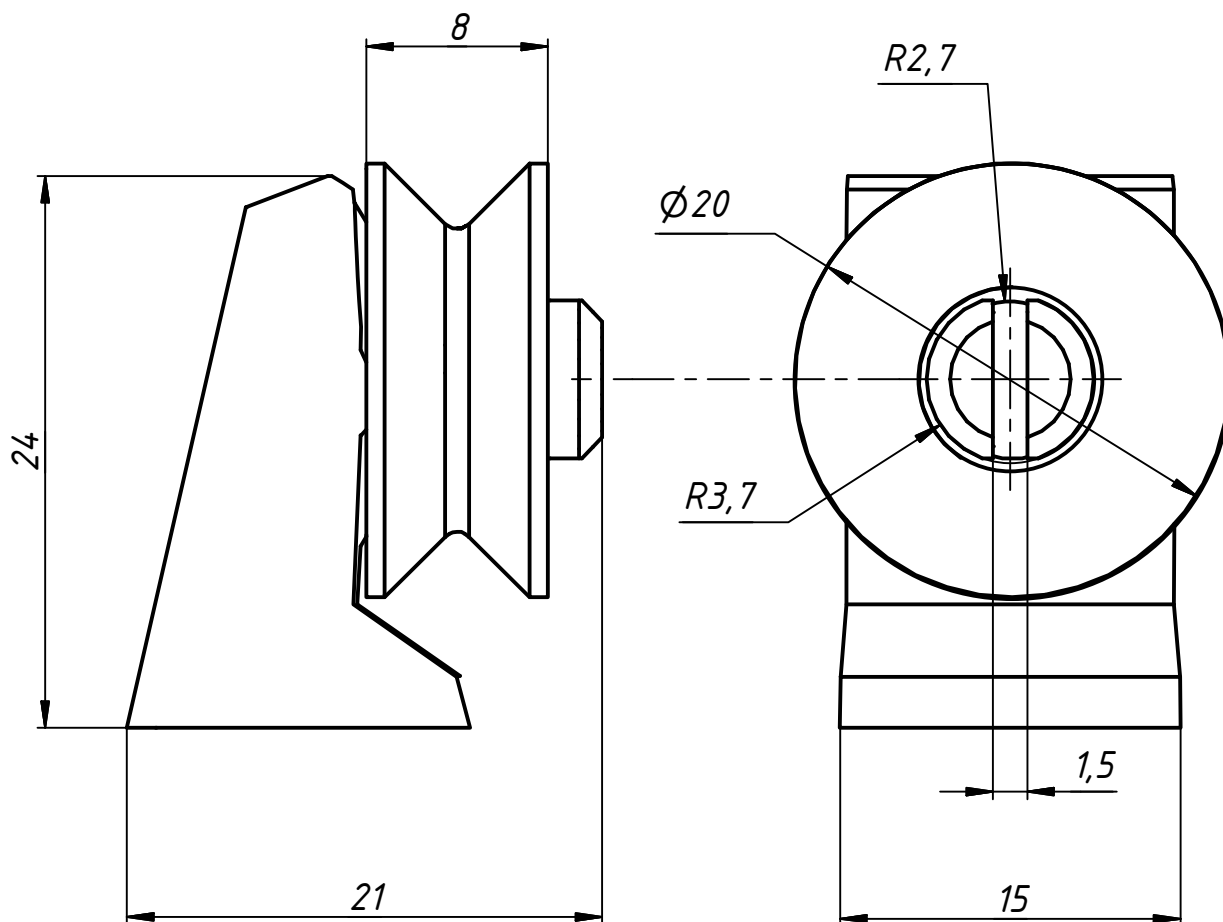
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



ФЮРА.301322.009

Опора скольжения

Лит.	Масса	Масштаб
	0,0	3:1
Лист	Листов	1
ТПУ ИШИТР Группа 8Е72		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Петров Д.Ю.		25.05.2021
Пров.		Филипас А.А.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Копировал

Формат А4

Справ. №		Перв. примен.		ФЮРА.305611.009					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	ФЮРА.305611.009					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Башня крепления	Лит.	Масса	Масштаб
	Разраб.	Петров Д.Ю.		25.05.2021					1:1
	Пров.	Филипас А.А.							
	Т. контр.						Лист	Листов	1
	Нач.отд.						ТПУ ИШИТР Группа 8Е72		
	Н. контр.								
	Утв.								

Technical drawing of a mounting bracket. The front view shows a horizontal base with a width of 86 and a vertical section with a height of 44. The base has a rounded end with radius R1. The vertical section has a curved top with radius R70 and a horizontal top edge with radius R40. The thickness of the vertical section is 10. The side view shows a vertical section with a height of 38 and a horizontal base with a width of 43. The top edge of the vertical section has a width of 15.